



SUBURBAN AREAS FAVORING ENERGY EFFICIENCY [SAFE]

RAPPORT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE FINAL

Chercheuses : A-F. Marique, T. de Meester
Encadrement : A. de Herde, S. Reiter

LEMA [ULg] - Architecture & Climat [UCL]

31 mai 2012

Introduction générale

Le projet de recherches SAFE (« *Suburban Areas Favoring Energy efficiency* ») porte sur l'évaluation énergétique des quartiers périurbains wallons existants dans le but d'en améliorer l'efficacité énergétique, notamment par le développement de nouveaux modes de conception et de planification de ces tissus. Cette recherche consiste en une modélisation énergétique globale des quartiers périurbains (intégrant l'évaluation énergétique des bâtiments, du transport et des réseaux d'énergie) sur toute la durée de leur cycle de vie. L'objectif concret de ce projet de recherches est de fournir un outil informatique interactif, accessible sur le web, qui permette d'évaluer l'efficacité énergétique des quartiers périurbains wallons existants et de tester différents scénarios de renouvellement.

Le projet SAFE est réalisé par deux équipes de recherches actives dans les domaines de l'architecture et de l'urbanisme durable : le LEMA de l'Université de Liège (Prof. Sigrid Reiter et Anne-Françoise Marique) et Architecture et Climat de l'Université catholique de Louvain (Prof. André De Herde et Tatiana de Meester).

Le projet de recherches SAFE est planifié sur une période de trois ans, de février 2009 à janvier 2012 et a été étendu, par avenant avec modification de budget jusqu'au 30 avril 2012. Il est structuré autour de cinq phases principales :

- l'état de l'art, la définition d'une typologie des quartiers périurbains wallons et la sélection des cas d'étude (phase I) ;
- le développement de méthodes d'évaluation et la modélisation énergétique de chacun des quartiers-types choisis, sur base de la configuration, des techniques et des usages actuels (phase II) ;
- la modélisation des quartiers-types sur base d'une variation paramétrée des principales caractéristiques architecturales et urbaines des tissus sélectionnés (phase III) ;
- la formalisation et la modélisation énergétique de différents scénarios de renouvellement des tissus périurbains (phase IV) ;
- la diffusion des résultats de la recherche, notamment via la publication de l'outil interactif final www.safe-energie.be (phase V).

Ce rapport scientifique et technique final comprend l'ensemble des résultats de la recherche. Il comprend trois composants principaux : le rapport scientifique et technique 1 (26 février 2010) qui aborde les phases I et II de la recherche, le rapport scientifique et technique 2 (28 février 2011) qui aborde les compléments apportés à la phase II et la phase III, le rapport scientifique et technique 3 (15 mai 2012) qui traite des phases IV et V et une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats de la recherche et les perspectives ouvertes par les résultats présentés.

Equipe de recherches : Anne-Françoise Marique (Ulg) – Tatiana de Meester (UCL)

Encadrement : Prof. André De Herde (UCL) – Prof. Sigrid Reiter (Ulg, coordination)



SUBURBAN AREAS FAVORING ENERGY EFFICIENCY [SAFE]

RAPPORT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE 1

Chercheuses : A-F. Marique, T. de Meester
Encadrement : A. de Herde, S. Reiter

LEMA [ULg] - Architecture & Climat [UCL]

26 février 2010

SUBURBAN AREAS FAVORING ENERGY EFFICIENCY [SAFE]

Rapport scientifique et technique

PHASE I : Etat de l'art, typologie des quartiers et sélection des cas d'étude

PHASE 2 : Modélisations énergétiques des quartiers sélectionnés, sur base de la configuration, des techniques et usages actuels.

Auteurs :	Anne-Françoise Marique [LEMA – Ulg] Tatiana de Meester [Architecture & Climat – UCL]
Encadrement :	Sigrid Reiter [LEMA-ULg] André de Herde [Architecture & Climat – UCL]
Date :	26 février 2010

PHASE I : Etat de l'art, typologie des quartiers périurbains et sélection des cas d'étude

Auteurs : Anne-Françoise Marique [LEMA – Ulg]
 Tatiana de Meester [Architecture & Climat – UCL]

Encadrement : Sigrid Reiter [LEMA-ULg]
 André de Herde [Architecture & Climat – UCL]

Période de travail : Février 2009 - Juillet 2009

1. Introduction

Le 11 décembre 1997, les Parties à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques établissent au Japon le texte du protocole de Kyoto. A ce jour, 122 pays, parmi lesquels la Belgique l'ont ratifié. Le 8 mars 2004, les Régions et le Gouvernement fédéral établissent à leur tour un accord selon lequel la Région wallonne devra réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 7,5% entre 1990 et 2008-2012. [CPDT, 2005]. Jusqu'ici, pour parvenir à cet objectif, la Région wallonne a essentiellement pu compter sur le « bon comportement » du secteur industriel (fermeture de vieux outils très consommateurs en énergie fossile tels que les hauts fourneaux et amélioration de l'efficacité énergétique des installations) et du secteur énergétique (arrêt de l'utilisation du charbon dans les centrales thermiques et production d'électricité verte notamment). L'enjeu à l'horizon 2020 est encore plus ambitieux. Il s'agira de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 20 à 30% par rapport à 1990, selon une décision du Conseil européen de Bruxelles, des 8 et 9 mars 2007. Cette fois, l'effort va aussi devoir venir des secteurs du transport et du logement qui figurent parmi les plus gros consommateurs, comme on peut le voir en termes d'émissions de gaz à effet de serre (Figure 1) mais surtout en termes de consommation finale d'énergie (Figure 3). En termes d'émissions de gaz à effet de serre, signalons encore que les secteurs tertiaires et du transport sont ceux qui connaissent la plus forte augmentation depuis 1990, avec respectivement +32% et +40%. L'industrie est en constante diminution et le logement connaît une croissance modérée.

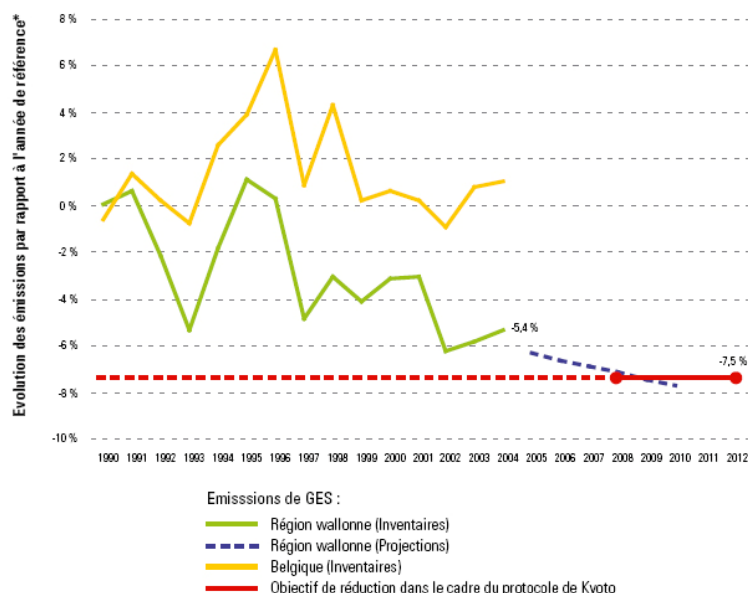
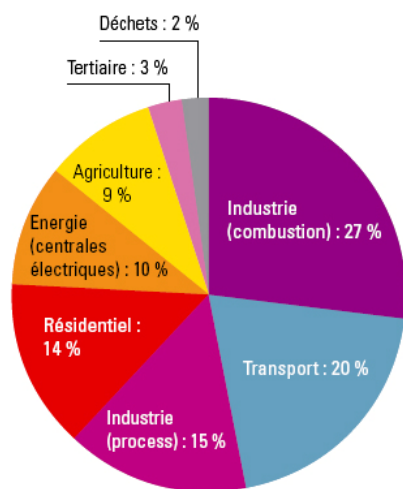


Figure 1 (gauche): Répartition des émissions de gaz à effet de serre par secteur d'activités en Région wallonne © [Cellule Etat de l'Environnement, 2007]

Figure 2 (droite) : Evolution des émissions de gaz à effet de serre (tous secteurs confondus) en Belgique et en Région wallonne par rapport à l'objectif de réduction de Kyoto

© [Cellule Etat de l'Environnement, 2007]

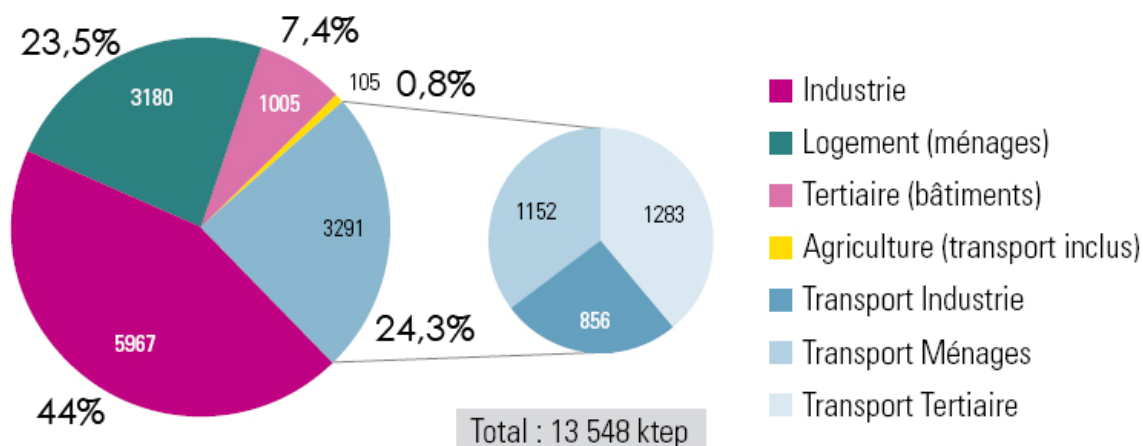


Figure 3 : Bilan de consommation finale d'énergie en Région wallonne, pour l'année 2004
 © [Cellule Etat de l'Environnement, 2007]

Dans le contexte international de diminution de l'impact de nos modes de vie sur l'environnement, réduire les consommations d'énergie dans le secteur du bâtiment apparaît souvent comme une cible politique importante tant à l'échelon européen (avec la Directive sur la performance énergétique des bâtiments (DPEB¹), par exemple) qu'aux niveaux nationaux et régionaux. La rénovation énergétique des bâtiments représente un potentiel important, et assez facilement mobilisable, de diminution des émissions de gaz à effet de serre et des consommations énergétiques, et d'amélioration de la qualité de vie pour les habitants (diminution de la facture énergétique, amélioration du confort, etc.), surtout quand on sait que la qualité énergétique des logements wallons est globalement médiocre.

Mais les considérations relatives à la performance énergétique des bâtiments restent souvent menées en parfaite indépendance avec la localisation des développements immobiliers alors que les incidences liées au transport de personnes, qui dépend directement du lieu de résidence, peuvent avoir une incidence importante en termes de consommations des ressources. Le recours accru à l'automobile et l'augmentation des distances parcourues pour le déplacement des personnes forment la principale cause de la forte augmentation des émissions de gaz à effet de serre dues au secteur du transport. Si cette évolution est mondiale et s'explique notamment par les mutations enregistrées sur le marché du travail ou les ménages (accès plus important des femmes au marché du travail, augmentation du temps dévolu aux loisirs, personnes âgées plus actives et mobiles, etc.), elle est particulièrement sensible en Région wallonne, comme l'atteste le tableau suivant.

¹ voir chapitre 5.2

Comparaison des émissions de gaz à effet de serre (GES) liées au transport entre la Région wallonne et les territoires environnants en 1990 et en 2004 © cpdt.wallonie.be			
Pays/région	Emissions de GES en 2004 (kg eq CO ₂)	Croissance des émissions de GES entre 1990 et 2004	Emissions de GES par habitant (en t eq CO ₂ /hab)
Région wallonne (1)	10.153	+40%	3,01
Région flamande (2)	14.622	+27,3%	2,44
Belgique (3)	26.452	+32,6%	2,55
Pays-bas (3)	34.824	+33,9%	2,15
Allemagne (3)	171.186	+5,3%	2,07
France (3)	141.900	+19,1%	2,38
Royaume uni (3)	128.487	+9,6%	2,17
Europe des 15 (3)	859.866	+24,7%	2,27

Tableau 1 : Comparaison des émissions de GES liées au transport entre la région wallonne et les territoires environnants en 1990 et 2004 © cpdt.wallonie.be ; Source : (1) ministère de la Région wallonne – DGRNE, Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007, page 305-307 ; (2) Vlaams Milieumaatschappij, Jaarverslag Lozingen in de lucht 1990-2006, p 102 ; (3) European Environment Agency, Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2004 and inventory report 2006, EE Technical report n°6/2006, p149.

Atteindre les objectifs fixés au niveau international impose donc d'agir tant sur les choix de localisation et sur les modes de déplacements que sur l'efficacité énergétique des logements nouveaux et existants. Remarquons à cet égard une spécificité de la Région wallonne (par rapport à la France ou aux Pays-Bas, notamment) : le stock bâti wallon est composé, pour une grande part de maisons isolées à 4 ou 3 façades (Figure 4), caractéristiques du phénomène de l'étalement urbain, à qui on attribue une contribution significative dans les consommations d'énergie globale (énergie + transport).

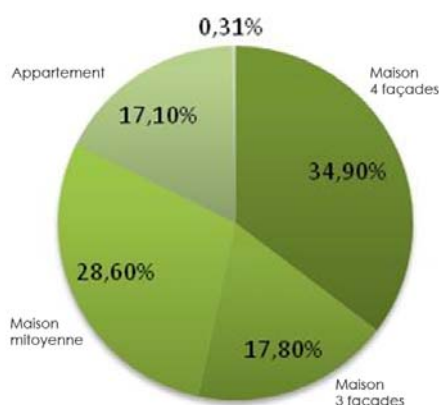


Figure 4 : Répartition du stock bâti par type d'habitations pour la Région wallonne © [Kints C., 2008]

Brück et al [2001] ont ainsi réalisé une analyse du bilan des consommations énergétiques par habitant de Bruxelles et de Liège, d'après les données du Recensement du logement et de la population [INS, 1991]. Il n'est pas univoque et montre une augmentation du bilan des consommations énergétiques par habitant, depuis la commune centrale vers la périphérie.

	Bruxelles		Liège	
	Consommation	Indice	Consommation	indice
Centre	0.48	100	0.64	133
Agglomération	0.56	117	0.71	148
Banlieue	0.55	115	0.65	135
Zone des migrants alternants	0.55	115	0.72	150

Tableau 2 : bilan des consommations énergétiques par habitant, en tep/an, à Bruxelles et à Liège, d'après le recensement INS de 1991 © [Brück et al, 2001]

Des observations néerlandaises indiquent également la même tendance avec une consommation de combustibles, pour le chauffage, une fois et demi supérieure dans les zones rurales que dans les zones densément urbanisées [CPDT, 2005].

Développer une approche spécifique au périurbain qui prenne en compte tant le secteur du résidentiel que celui du transport des personnes semble donc nécessaire, dans un contexte où les méthodes et politiques s'accordent, le plus souvent, à dire qu'il faut privilégier la ville compacte et limiter l'étalement urbain sans se poser la question du vieillissement et du devenir de ces territoires déjà urbanisés. Il est pourtant impossible de retrouver les conditions de la ville compacte car les quartiers périurbains sont là pour plusieurs décennies.

Le présent rapport (Phase I du projet de recherche SAFE) s'articule autour des thématiques suivantes : le chapitre 2 s'intéresse au phénomène de périurbanisation (définitions, particularités et grandes tendances en Région wallonne). Le chapitre 3 rappelle les principaux modèles de forme urbaine et leurs avantages en termes de consommations énergétiques, le chapitre 4 dresse ensuite un état de l'art des méthodes disponibles pour évaluer les consommations énergétiques des bâtiments et des transports. Le chapitre 5 rappelle les principales réglementations en vigueur en Région wallonne, en ce qui concerne l'utilisation des sols, les performances énergétiques des bâtiments et les transports. La typologie des quartiers périurbains développée au cours de cette recherche fait l'objet du chapitre 6. Le rapport se termine par la sélection des cas d'études, au chapitre 7, qui feront l'objet des analyses énergétiques des phases suivantes de ce travail de recherches.

2. La périurbanisation

2.1. Quelques définitions

Depuis la fin du 19^{ème} siècle, l'industrialisation a amené, en Région wallonne, le recul des terres agricoles, au profit des bois et de l'urbanisation. Si la progression de la forêt semble s'être arrêtée au début des années 80, l'urbanisation poursuit sa croissance : en moins de 20 ans, la superficie totale du bâti wallon a ainsi augmenté de 18%. Se limitant auparavant aux terrains proches des villes et villages existants, elle touche aujourd'hui l'ensemble du territoire, jusqu'aux zones rurales les plus reculées [Kints C., 2008]. Cette déconcentration des fonctions urbaines, principalement du logement et des activités économiques, hors des villes est une réalité complexe et mal définie. De nombreux termes et définitions sont aujourd'hui couramment utilisés pour la décrire. Le SDER² les regroupe en 3 catégories, selon qu'ils mettent plutôt l'accent :

- De façon générale, sur la dissémination des fonctions et des populations dans l'espace : désurbanisation, urbanisation diffuse, dispersion de l'habitat, des fonctions ;
- Plus particulièrement sur l'extension diluée des villes : périurbanisation, suburbanisation, étalement urbain ;
- Plus particulièrement sur l'urbanisation diffuse de la campagne : rururbanisation, mitage de l'espace rural (éparpillement).

Dans le cadre qui nous occupe, nous utiliserons particulièrement, les trois termes suivants, tous absents du dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement [Merlin P., Choay F., 2000] et dont les contours peuvent être tracés au départ de travaux existants :

- La désurbanisation ou périurbanisation³ qui est définie par la CPDT [2001] comme le « *phénomène de déconcentration des populations et des activités soit par desserrement ou mouvement du centre de l'agglomération vers la périphérie, soit par décentralisation ou mouvement d'une ville ou d'une région vers une autre* » ;
- L'étalement urbain qui peut être assimilé à une croissance contigüe à faible densité, en périphérie sans continuité dans l'expansion [Bochet B., 2007]. Il intervient dans une zone donnée lorsque le taux d'occupation des terres et la consommation de celles-ci à des fins d'urbanisation sont plus rapides que la croissance de la population sur une période de temps déterminée [EEA Briefing]. Ce développement est inégal, clairsemé, perlé, avec une tendance à la discontinuité [Bouvier T., 2009]. Ewing R. et Rong F. [2008] mentionnent encore que de nombreux chercheurs (ils citent [Burchfield et al, 2005], [Fulton et al, 2001], [Lopez and Hynes, 2003], [Malpezzi and Guo, 2001]) ont créé des mesures de l'étalement

² Le Schéma de Développement de l'Espace Régional exprime les options d'aménagement et de développement pour l'ensemble du territoire wallon. C'est le seul document envisageant d'un seul tenant l'ensemble du territoire régional [Hanocq P., 2008], consulté en ligne sur sder.wallonie.be

³ Le SDER notamment utilise les deux termes indifféremment.

urbain basées sur la densité mais que peu d'études ont abordé l'étalement urbain de manière multidimensionnelle. Galster et al. [2001] enfin, définissent l'étalement urbain [urban sprawl] comme un *land use pattern* qui présente de faible niveau de densité, continuité, concentration, compacité, centralité, nucléarité, diversité et/ou proximité.

2.2. Les grandes tendances en Région wallonne

La périurbanisation en Région wallonne a fait l'objet d'études diverses depuis plus de 10 ans (ce thème faisait notamment partie des premières recherches menées par la Conférence Permanente du Développement Territorial), ce qui a permis de mettre en évidence les grandes tendances suivantes :

Un phénomène de long terme toujours d'actualité.

Si elle a connu son paroxysme dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle [la ville de Liège, par exemple, comptait 250.000 habitants en 1960 contre 190.000 en 2000], la périurbanisation est un phénomène de long terme. Van de Velde évoque déjà, au début du 20^{ème} siècle l'exode urbain des populations aisées de Bruxelles vers la périphérie. Les cités-jardins qui apparaissent après la première guerre mondiale relèvent aussi de la périurbanisation en répondant à la volonté des urbains de fuir la ville sale et de se rapprocher de la nature. Ce modèle, conçu en Angleterre et importé en Belgique par des architectes modernistes, contient tous les germes du lotissement actuel. La cité-jardin est toutefois d'avantage caractérisée par la volonté d'avoir à la fois la campagne, et ses avantages, et la ville, et ses services, regroupés au sein d'une même cité (alors que le lotissement sera monofonctionnel). Les trente glorieuses, période de reconstruction et d'activité immobilière intenses au lendemain de la seconde guerre mondiale, sont marquées par l'apparition de nouveaux systèmes de financement, de nouvelles techniques de construction et par le développement de l'automobile qui jouent un rôle majeur dans les modes constructifs et les choix résidentiels. C'est la première vague de périurbanisation, particulièrement intensive, liée à la mobilité privée. De 1971 à 1980, au niveau des zones urbaines, c'est en banlieue (deuxième couronne) qu'on retrouve le plus de logements datant de cette époque. Ces développements s'expliquent par l'augmentation de la mobilité des travailleurs, la volonté d'habiter dans des conditions de vie considérées comme meilleures par rapport aux villes et surtout une politique foncière accessible aux classes moins aisées. A cette époque [1974], paraît la première étude internationale traitant véritablement de l'étalement urbain, « *The cost of urban sprawl* », rédigée par une agence nationale américaine traitant de l'environnement.

Dès 1980, l'urbanisation diffuse touche l'ensemble du territoire : la ville décroît et la périphérie augmente. La progression radioconcentrique n'est plus la règle : on assiste à un phénomène de déconcentration urbaine, lié à la facilitation des transports et à la volonté de vivre à la campagne, dans une « villa » située sur une grande parcelle « près de la nature ». Cette urbanisation diffuse touche maintenant l'ensemble du territoire, y compris les régions rurales et les plus éloignées des centres, ce qui a pour conséquence le déclin des grandes villes, le peuplement des banlieues et des zones plus éloignées (la différence entre ville et campagne s'estompe), la croissance de certaines villes moyennes, etc. Chaque personne occupe de plus en plus d'espace puisque la taille des parcelles destinées au logement augmente alors que la taille des ménages diminue [Kints C., 2008].

Les politiques d'aménagement du territoire visant à freiner cette tendance, dont les effets néfastes sont de plus en plus décriés, commencent à apparaître mais ne semblent pas porter leurs fruits. Les développements périurbains sont particulièrement importants en Brabant wallon et le long de l'axe de la périurbanisation de Bruxelles vers le Luxembourg qui brise alors la réalité de l'axe industriel wallon en son centre, au niveau de Namur [Kints C., 2008]. Dans les années 90 enfin, et si le phénomène est toujours d'actualité, on remarque que la périphérie augmente toujours fortement mais que la ville stagne ou augmente un peu (Namur notamment). L'étalement spatial de la périurbanisation s'amplifie.

1980	1990	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4.344	4.980	5.640	5.787	5.830	5.868	5.912	5.958	6.004	6.050
1.526	1.791	2.221	2.322	2.351	2.379	2.409	2.439	2.470	2.501

Tableau 3 : utilisation du sol en km² [1980-2009] pour les « terrains bâtis et terrains connexes » sur la première ligne ; dont les « terrains résidentiels » sur la deuxième ligne, chiffres du SPF Economie P.M.E, classes moyennes et Energie ©economie.fgov.be/

Deux conditions nécessaires : le relâchement des contraintes de mobilité ET les préférences des habitants.

Comme on vient de l'évoquer dans l'évolution historique de la périurbanisation, le relâchement des contraintes de mobilité (grâce aux transports en commun d'abord, aux voitures individuelles ensuite) apparaît comme l'élément déclenchant de la périurbanisation. A titre d'exemple, si la vitesse de déplacement est multipliée par 10, elle autorise des choix de localisation sur un territoire potentiellement centuplé [Halleux J.-M., 2008], ce qui entraîne des surabondances foncières dans le sens où les possibilités d'occupation de l'espace excèdent largement les besoins des fonctions urbaines. Dans leur volonté de vivre sur les territoires les plus larges possibles, les individus sont toutefois soumis à des contraintes de deux types :

- Un budget temps : un individu consacre maximum 1 heure à 1h30 par jour pour ses déplacements vers son lieu de travail ;
- Une contrainte financière : maximum 15 à 20% du budget d'un ménage est consacré aux transports.

La variable « temps » reste constante au cours des années alors que la distance parcourue durant ce temps augmente, notamment dans les années 70. Le lien entre les deux, c'est la vitesse. Créer des routes et infrastructures routières permet ainsi de gagner de l'espace plutôt que du temps, ce qui explique la périurbanisation. On est ainsi passé, au court du temps, de la ville dense piétonne à la ville moins dense grâce à l'essor des transports en commun puis à la périurbanisation liée à la banalisation de la voiture individuelle.

Mais si la mobilité est une condition nécessaire à la périurbanisation, elle n'est pas suffisante, il y a aussi les préférences personnelles des ménages pour ce type de développement (et la politique d'aménagement du territoire qui rend possible ou non la matérialisation de ces choix). L'étalement urbain en Wallonie reflète en effet d'avantage des modes de vie et de consommation que l'accroissement de population. Il est directement lié au transport et à

l'impact du développement du parc automobile sur des modes de vie qui reposent de plus en plus sur une forte mobilité des personnes, conséquence d'un modèle social basé sur l'individualisation croissante des comportements et sur une organisation de l'espace progressivement adaptée aux contraintes de la voiture individuelle. [CPDT, 2002].

La dépréciation des espaces centraux traditionnels.

La périurbanisation, en Région wallonne, est caractérisée par un double phénomène d'étalement urbain et de désurbanisation ou dépression des espaces centraux traditionnels en tissu ancien. Cette dépréciation est en partie due à la désindustrialisation, particulièrement criante dans l'ancien sillon minier et aux nombreuses friches industrielles qu'elle a engendrées mais trouve surtout son origine dans la périurbanisation des ménages et des activités. Ce double mouvement est assez caractéristique de la Wallonie. En France, par exemple, si on note également une tendance forte à l'étalement urbain, celui-ci ne se développe pas au détriment des espaces centraux qui restent habités majoritairement par des classes plutôt aisées.

La dispersion spatiale.

En Région wallonne, la périurbanisation concerne des espaces éloignés des espaces bâtis existants, contrairement au sud de la Grande Bretagne [Figure 5], par exemple, où on remarque, pour une densité et une topographie similaire à la Région wallonne, un développement très limité en campagne. En Grande Bretagne, la tradition de maîtrise de l'étalement urbain est ancienne et profondément ancrée. La volonté de contrôle des extensions urbaines, d'abord incarnée par les villes nouvelles et les ceintures vertes ne s'est pas démentie depuis le début du 20^{ème} siècle (la première « *green belt* », celle de Londres, date de 1938). Les ceintures vertes en place autour des agglomérations occupent actuellement environ 13% du territoire de l'Angleterre. Elles abritent de nombreux villages et bourgs ruraux conservés dans leur état rural originel en raison des restrictions très sévères imposées à l'urbanisation. On peut remarquer que ces ceintures vertes portent quand même une ambiguïté : d'un côté, elles protègent contre l'étalement urbain (et dans un même temps favorise donc le renouvellement de la ville puisqu'il y a moins de disponibilité en périphérie) et préservent les villages ruraux, d'un autre, elles sont utilisées par les « premiers arrivés » pour se protéger des nouveaux et les villages qui les constituent sont souvent des clos de gens très homogènes et privilégiés.

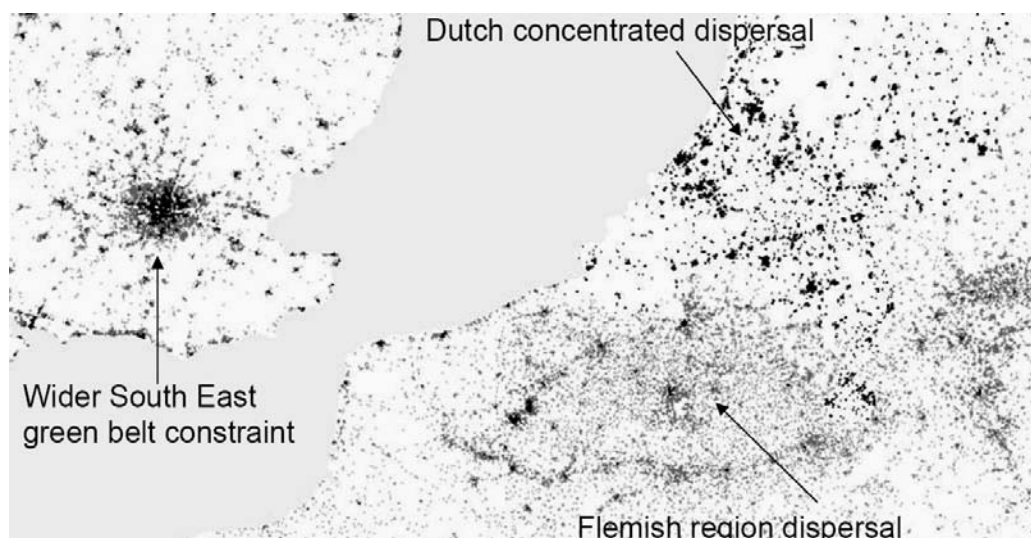


Figure 5 : Etalement urbain en Angleterre, aux Pays-Bas et en Flandres © [EPSRC, 2009]

Aux Pays-Bas, la périurbanisation est plutôt marquée par une dispersion de l'habitat, qui au contraire de la Wallonie, reste relativement concentrée autour de quelques villes moyennes (concentration dispersée). Le tissu périurbain flamand, à l'image de la celui de la Wallonie est plus dispersé [EPSCR, 2009]. Il s'agit ici d'une dispersion de l'habitat qui ne se fait pas en continuité avec les centres urbains existants.

Une faible densité.

La périurbanisation en Wallonie est caractérisée par une densité faible. Les parcelles présentent de grandes superficies, que ce soit en ce qui concerne l'habitat comme en ce qui concerne les zones d'activités économiques. La superficie moyenne des terrains à bâtir, qui constitue un indicateur de l'évolution de la consommation de l'espace à des fins résidentielles, vendus en 2004 est proche de celle de 1990 (environ 1.500m²). Elle a cependant eu tendance à croître entre 1997 et 2001, pour atteindre une moyenne de 1.700m². On observe une amorce de décroissance à partir de 2002, qui pourrait s'expliquer entre autres par l'accroissement plus rapide du prix au m² [Figure 7, Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007]. A titre de comparaison, la taille moyenne des parcelles aux Pays-Bas n'atteint que 400m² [Halleux J.-M., 2008].

La politique d'offre foncière belge [voir : des développements sans planification] explique aussi pourquoi les parcelles sont généralement de grande taille : dans un contexte culturel peu soucieux de la consommation d'espace les programmes d'urbanisation sont définis par des promoteurs privés visant à assurer la commercialisation de leurs parcelles et donc à offrir le produit foncier le moins risqué, hors certaines zones de fortes demandes, la parcelle dans un environnement peu dense et suffisamment large que pour accueillir une villa 4 façades [Halleux J.-M., 2008].

L'augmentation de la superficie urbanisée ne s'explique que partiellement par la croissance de la population. En effet, durant la période 1986-2004 par exemple, le nombre d'habitants en Wallonie a augmenté de 5,5%. Or, durant la même période, la superficie urbanisée est passée de 610m² à 680m² par personne (+11,5%). L'augmentation de la superficie urbanisée n'est donc pas liée uniquement à la croissance de la population mais également à une plus grande consommation d'espace par personne, que ce soit pour le logement, le travail, les infrastructures de transport ou de loisirs.

Remarquons aussi que la taille moyenne des terrains à bâtir diffère selon les sous-régions. Les localités situées dans l'aire d'influence d'une ville importante subissent en général une pression foncière qui se traduit par une baisse de cette taille. Ainsi le Brabant Wallon, les cantons de l'est et Arlon connaissent une diminution de la taille des parcelles à bâtir due à la proximité, respectivement, de Bruxelles, de l'Allemagne et du Luxembourg. Ceci s'explique sans doute par une demande plus forte et une offre de plus en plus réduite. Il s'en suivrait une hausse de prix qui pousse les ménages à rechercher des parcelles plus petites [Figure 7, Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007].

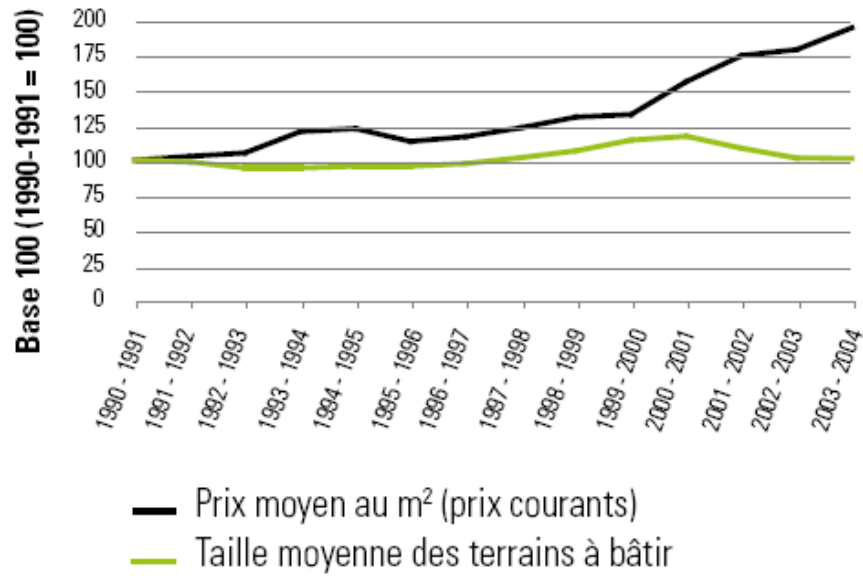


Figure 6 : Evolution de la taille moyenne et du prix moyen au m² des terrains à bâtir vendus en Région wallonne ©[Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007]

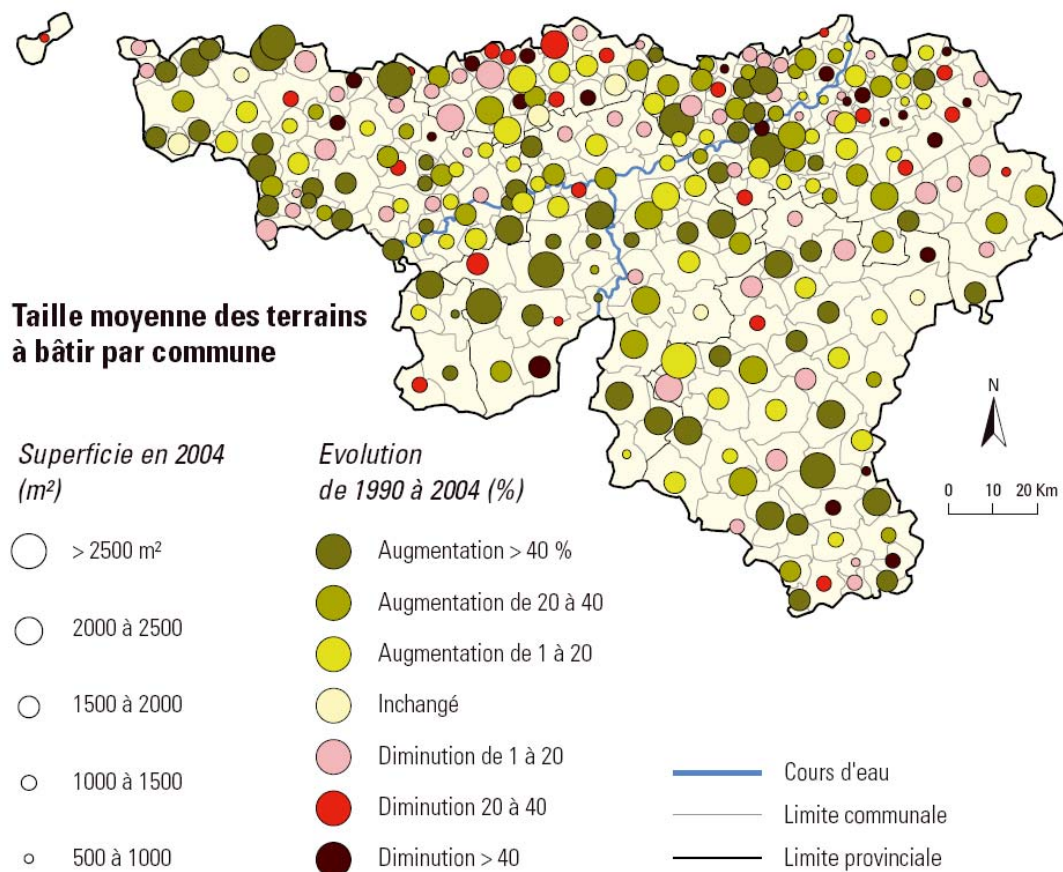


Figure 7 : Taille moyenne des terrains à bâtir par commune ©[Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007]

On remarque enfin une tendance récente au développement de logements collectifs périurbains qui prennent la forme de petits immeubles à appartements. Les blocages rencontrés par les promoteurs désireux de développer ce genre de projet en zones urbaines font que ce type de réalisation tend à se périurbaniser. Une intensification de la production en immeubles collectifs est ainsi observée au sein de la grande zone métropolitaine de Bruxelles et dans la grande périphérie liégeoise. Face à la progression de la production de logements collectifs, il convient d'attirer l'attention sur la nécessaire régulation de cette nouvelle forme de périurbanisation, qui pose des problèmes de divers ordres (dépendance automobile, intégration paysagère, syndrome NIMBY, etc.) [Halleux J.-M., Lambotte J.-M., 2008].

La monofonctionnalité.

La périurbanisation wallonne est monofonctionnelle et touche principalement le logement mais concerne aussi les activités économiques, culturelles, universitaires, de loisirs, etc. par opposition aux tissus centraux anciens qui mêlaient intimement logement, industries et autres fonctions. La périurbanisation des ménages est elle-même très liée à la périurbanisation des activités et des emplois puisque de nombreux ménages déménagent en zone périurbaine pour se rapprocher du lieu de travail d'un des deux conjoints [Piron O., 2007].

Plus problématique, les lotissements contemporains de villas individuelles, qui ont connu leur heure de gloire ces vingt dernières années et qui continuent à former une réponse à la demande de logement, démontrent, jusqu'à ce jour du moins, une véritable incapacité d'évolution vers une mixité du tissu [Mangin D., 2004].

Une forte aspiration à la maison unifamiliale et une faible propension de régulation.

La Région wallonne, et la Belgique de façon plus générale, se caractérisent par une forte aspiration à la maison individuelle et une prégnance du droit de propriété couplées à une faible propension de régulation en urbanisme. L'aspiration à la maison individuelle, d'abord, est bien ancrée dans le contexte belge. Depuis la loi de 1889 sur les habitations ouvrières, l'accession à la propriété se développe comme le pilier principal de la politique de logement (la fameuse « brique dans le ventre »). La faible régulation en urbanisme, d'autre part, est également une tendance lourde du contexte national et s'inscrit dans une conception plutôt « sud-européenne » de la captation de la rente foncière : il paraît légitime de laisser au propriétaire foncier initial le bénéfice de la rente foncière (y compris la rente d'urbanisation lorsque le terrain passe d'un usage rural à un usage urbain). Au contraire, en Europe du Nord, la conception largement répandue est que la propriété du sol n'inclut pas le droit à la plus value [Halleux J.-M., 2008].

Ce double constat est assez spécifique à la Belgique. Aux Pays-Bas par exemple, l'aspiration à la maison individuelle est combinée à une forte régulation publique qui évite certaines dérives. L'ADEF commente pour sa part la faible intervention de la puissance publique belge sur les marchés fonciers et s'étonne de l'idée prédominante selon laquelle le sol n'est pas, dans notre pays, considéré comme un bien rare et non reproductible mais comme un bien abondant que l'on peut consommer ce qui peut engendrer une consommation excessive et un gaspillage de l'espace [R. Acosta, 1994].

Des développements sans planification, au gré des projets des développeurs privés.

La périurbanisation en Région wallonne ne découle pas d'une politique d'aménagement foncier. Elle se fait au gré des développeurs privés, sans vision globale et à long terme. En effet, à l'opposé des politiques de production foncière néerlandaises par exemple, la Belgique se caractérise par des politiques d'offre foncière ce qui implique une délimitation publique de l'offre juridiquement urbanisable, mais la nécessité d'une intervention privée lorsqu'il s'agit de transformer l'offre juridique potentielle⁴ en offre effective⁵. En pareil cas, la puissance publique ne juge pas nécessaire de canaliser les développements urbains en s'assurant que les terrains définis pour l'urbanisation soient effectivement mis en œuvre. Ce sont les initiatives des promoteurs et propriétaires fonciers qui déterminent le peuplement du territoire et il en résulte inmanquablement un mitage de l'espace et un gaspillage de terrains, notamment en raison de la rétention spéculative des propriétaires de terrains situés au sein ou à proximité immédiate des agglomérations et éloigne les demandeurs des noyaux urbains. La production publique foncière, à l'opposé, offre deux avantages : elle permet de collectiviser la rente d'urbanisation et, simultanément, de mieux contrôler la localisation des nouveaux développements (adéquation entre l'offre juridique potentielle et l'offre effective) [Halleux J.-M., 2008].

Une forte tendance à l'autopromotion.

La filière de l'autopromotion est largement prédominante pour la construction de nouveaux logements unifamiliaux. Plutôt que d'acquérir une habitation déjà construite par un promoteur, le ménage wallon désireux de bénéficier d'une construction unifamiliale neuve est donc plutôt maître d'ouvrage. Même si cette observation est banale pour une audience wallonne, il est important de comprendre que nous sommes ici en présence d'une spécificité belge [Halleux J.-M., Lambotte J.-M., 2008]. Au sein des principaux pays occidentaux, c'est en effet à la Belgique que revient la palme de l'autopromotion. A l'inverse, la filière « promoteur » est très majoritaire au Royaume-Uni et aux Pays-Bas où les familles acquièrent des habitations déjà construites par des professionnels. Pour la décennie 80, la part de l'autopromotion dans la production de nouveaux logements s'élève ainsi à 60% en Belgique, contre 52% en France, seulement 10 aux Pays-Bas et 6% au Royaume Uni [Halleux J.-M., 2008]. Expliquer la spécificité belge de l'autopromotion nécessite de faire référence aux modalités de planification foncière. En effet, la maîtrise d'ouvrage des particuliers est souvent prédominante là où les futurs occupants peuvent aisément accéder aux terrains à bâtir (comme en Belgique). Par contre, si la planification est stricte, les difficultés des particuliers pour accéder au marché foncier poussent les professionnels à développer leur maîtrise d'ouvrage, comme au Royaume-Uni ou aux Pays-Bas [Halleux J.-M., 2005]. L'histoire de la politique du logement explique également la spécificité belge de l'autopromotion. Sur ce sujet, la tradition visant à soutenir la propriété immobilière depuis la loi de 1889 inaugurant la politique du logement est un élément bien connu. Par contre, on oublie que cette politique historique ne visait pas uniquement à favoriser les propriétaires-occupants. En effet, de nombreux outils mis en place depuis la fin du 19^{ème} siècle ont permis à de « petits bourgeois » de placer leurs économies dans la construction d'immeubles de rapport, retardant par là l'apparition du promoteur professionnel [Doucet P., 1985].

4 L'offre potentielle correspond à la totalité des biens fonciers existants, soit accessibles, soit juridiquement urbanisables, soit techniquement urbanisables, soit bâtis [Halleux J.-M., 2008].

5 L'offre effective correspond, à un moment déterminé, aux biens effectivement offerts sur le marché [Halleux J.-M., 2008].

Une spécialisation des territoires en fonction des cycles de vie.

Le rapport à la centralité et la spécialisation des territoires dépendent assez clairement des cycles de vie des populations qui les habitent. Les jeunes non fixés, débutant professionnellement, recherchent ainsi essentiellement la proximité des activités, lieux culturels et de mouvements de la ville. Ils s'orientent, une fois leur famille en formation, vers des localisations périurbaines qui répondent alors à un besoin nouveau d'espace et de nature en offrant un voisinage assez homogène d'un point de vue social. Mais, il n'est pas rare, lorsque les enfants sont élevés, qu'ils quittent le domicile parental. Ces ménages favorisés vieillissants cherchent alors à retrouver l'espace de centralité, notamment dans les villes petites ou moyennes. Ces préférences individuelles semblent liées au statut social des personnes concernées et si elles sont choisies, elles peuvent aussi être subies pour d'autres catégories de population.

Une source d'inégalités socio-spatiales.

Le choix d'une localisation périurbaine, au-delà des préférences individuelles, découle d'un arbitrage entre coût de transport, temps de déplacement et prix foncier. Si les ménages sont, comme on l'a vu, désireux de s'établir en périphérie verte, ils sont contraints, dans cette quête par l'aspect financier. Une partie du territoire devient ainsi inaccessible financièrement pour les accédants à la propriété. La première couronne des grandes villes, Liège notamment, devient ainsi inabordable pour une partie des ménages qui doivent alors s'écarter encore des centres urbains où, suite au développement des bureaux, des commerces et des services, la rente foncière a augmenté, décourageant ainsi l'accès au logement sur ces territoires centraux. On remarque de plus (en France notamment) que ce sont encore les populations les plus aisées qui réintègrent les quartiers centraux lorsque ceux-ci ont fait l'objet d'une rénovation ou d'une revitalisation. Cela conduit encore à augmenter la pression foncière et la crise du logement actuelle et donc une partie de la population se voit contrainte à vivre dans des très petits logements en centre-ville, en location, ou de passer au-delà des premières couronnes, dans des zones souvent non desservies en transport en commun [Charmes E., 2007].

Par ailleurs, de nombreux auteurs s'accordent aujourd'hui pour dire que l'étalement urbain coûte cher à la collectivité, notamment en ce qui concerne les coûts de construction et d'entretien des réseaux (gaz, eau, électricité, etc.), les déplacements et le chauffage [Lambert L., 2006]. La périurbanisation entraîne ainsi des coûts pour la collectivité qui ne profitent qu'à certains. Les populations précarisées du centre ville financent en partie le bien-être des nantis de la périphérie : coûts des réseaux et de leur remplacement, perte d'espaces verts et agricoles, augmentation de la pollution atmosphérique, etc. car les bénéfices de la périurbanisation sont privés et les coûts collectifs.

Des territoires dépendants de l'automobile

Les territoires périurbains, en particulier ceux les plus éloignés des centres urbains sont très dépendants de la voiture. Compte tenu de leur éloignement et de la faible densité qui les caractérise, il est en effet difficile d'y assurer une desserte correcte en transport en commun, ce qui contribue à augmenter le nombre et la longueur des déplacements quotidiens. L'évolution des modes de travail a également un rôle dans cette difficulté à desservir les quartiers périurbains : les horaires sont flexibles, les lieux de travail non centralisés et éloignés dans des zones d'activités de faible densité, les emplois à temps partiel se généralisent, etc. L'usage et l'organisation des transports en commun semblent donc souvent irréalistes.

Des conséquences environnementales

La forte dépendance à l'automobile dont il vient d'être question n'est pas favorable à la diminution de la consommation d'énergie liée aux transports, ni à la réduction des pollutions atmosphériques et de l'effet de serre qui y sont liés. Parmi les autres conséquences environnementales directes ou indirectes des développements périurbains, on peut citer une occupation irréversible et une imperméabilisation croissante des sols, une banalisation des paysages, un mitage des terres agricoles, etc.

Des avantages aussi...

Si on parle toujours des effets négatifs de la périurbanisation, il y a aussi des éléments positifs à prendre en considération : une maison individuelle en zone périurbaine permet une culture potagère, plus difficile en ville, ce qui permet de diminuer les dépenses alimentaires, voire de dégager une marge pour la vente. La maison individuelle avec jardin permet aussi à ceux qui ne disposent pas de moyens financiers pour partir en vacances (50% des ouvriers français) de profiter plus confortablement de la saison estivale qu'en appartement [Piron O., 2007]. La biodiversité paraît assez bonne en zone périurbaine.

Ces développements répondent par ailleurs à une demande sociale. Mentionnons enfin que les études qui traitent de périurbanisation n'évaluent en général que les coûts de la désurbanisation et jamais les bénéfices, qui sont, il est vrai, difficiles à quantifier.

Des interrogations quant au vieillissement et au recyclage des tissus.

Les quartiers périurbains restent récents puisqu'ils datent pour la plupart de la seconde moitié du 20^{ème} siècle. La question du « vieillissement » et du recyclage de ces lotissements commence toutefois à se poser et devrait entraîner des coûts importants, notamment en termes de remplacement des réseaux, de régénération du bâti pour satisfaire à des standards énergétiques plus conformes ou à de nouvelles réalités sociales (ménages plus petits, population plus âgée), etc. Enfin, l'évolution de ces espaces et de leurs populations dans le cadre d'une crise énergétique majeure qui remette en cause la mobilité individuelle reste inquiétante. Ces questions, à l'échelle de la Région wallonne, sont cruciales et devraient également être étudiées dans un cadre plus large puisque la périurbanisation tend aujourd'hui à se généraliser à certains pays d'Europe de l'est (Pologne) et du sud (Espagne et Italie) voir aux pays émergents comme la Chine. Le cas wallon se profile ainsi comme un exemple de « mauvaise pratique » au niveau international et peut avoir une utilité sociale internationale.

3. Les modèles de forme urbaine

La problématique de l'étalement urbain et de ses impacts environnementaux fait resurgir la question de la forme urbaine et des densités, ainsi que leurs corollaires d'interrogations, notamment sur la validité de la ville compacte et plus largement sur le sens donné à la ville durable [Bochet B., 2007]. Il existe, dans la littérature, deux théories dominantes contradictoires dès lors qu'il est question de savoir quelles formes urbaines et caractéristiques d'occupation du sol promeuvent une société plus durable : la ville compacte et la ville dispersée [Holden E., Norland T.I., 2005]. Plus récemment, différents courants intermédiaires, proposant de tirer parti du meilleur des deux modèles, ont fait leur apparition.

3.1. La ville compacte

Le modèle de la ville compacte affirme avant tout la nécessité d'enrayer le processus de dispersion en empêchant l'extension géographique de l'agglomération. Il s'articule, en opposition avec l'étalement urbain, autour des concepts de la (très) haute densité, de la mixité fonctionnelle (logements, lieux de travail et commerces) et des systèmes de transport urbain performants. Cette forme urbaine, schématiquement représentées par un centre fort où sont concentrées les activités et un mouvement radial vers le centre [Rogers R., 2000], implique des développements immobiliers denses et concentrés qui favorisent l'habitat collectif et mitoyen et les déplacements courts et non motorisés. La ville compacte a pour ambition de développer la vie urbaine selon des formes connues depuis longtemps, en créant des espaces publics conviviaux, en favorisant la mixité des groupes sociaux et les fonctions urbaines dans des lieux accessibles à tous, même sans voiture. Selon cette première théorie le développement de logements dans la périphérie, des maisons unifamiliales en particulier, est banni.

Il est attribué à la ville compacte une série de vertus, tant environnementales, énergétiques que sociales, qui participent à la rendre durable : faible besoin d'énergie tant pour le logement que pour les transports journaliers, économie de sols et des coûts d'urbanisation, performance élevée des systèmes de chaleur, mixité fonctionnelle et sociale, réseau de transports en commun performants, etc. S'il existe un véritable consensus depuis plusieurs années⁶ sur le fait que la ville compacte soit le meilleur moyen de réduire les consommations d'énergie et la pollution, peu de preuves scientifiques existent pour confirmer cette tendance [Breheny M., 1995]. Bien que largement valorisé, des interrogations persistent donc tant sur la validité de ce modèle que sur les principes qui en découlent [voir chapitre 4.2.1].

3.2. La ville dispersée

La modèle de la ville dispersée prône la diminution de l'intensité d'usage du sol urbain pour réduire le coût de la vie et de la production. Il reflète le choix d'une partie de la population pour

⁶ La commission européenne [Green paper on the urban environment] et divers états (Royaume Uni, Pays-Bas, Australie, etc.) en ont fait un des éléments clés de leurs politiques environnementales et de développement durable, dans les années 90.

plus d'espace, à moindre prix. Ce modèle qui mixe usages urbains et ruraux via des améliorations des réseaux de transports ont une longue tradition dans l'urbanisme du 19^{ème} siècle : Cerda, Soria y Matta puis Wright au 20^{ème} avec son Broadacre city où les habitants disposent d'un acre par personne et où l'industrie et l'agriculture sont entremêlés avec les services. Le principal argument pour ce type de développement est qu'il n'existe plus depuis longtemps de ville monocentrique mais qu'on est face à un développement polycentrique. Les défenseurs de la ville dispersée défendent ainsi une ville verte où les bâtiments, les champs et autres zones vertes forment un schéma « en mosaïque » [EPSRC, 2000].

Les avantages de ce modèle se mesurent surtout en termes économiques et sociaux. Le modèle de la ville dispersée est d'ailleurs mis en avant par plusieurs analystes venant des sciences économiques qui estiment qu'une restriction dans la quantité de terrains disponibles augmente le prix, ce qui diminue son utilisation. En conséquence, les coûts plus élevés pour le logement et les commerces affectent les coûts de production, ce qui rend la région moins compétitive et diminue la production dans certains secteurs industriels [EPSRC, 2009].

Les détracteurs du modèle de la ville dispersée mettent en avant ses travers environnementaux (consommation d'énergie et de sol puisque permettre au marché d'opérer sans restriction entraîne le phénomène d'étalement urbain, diminution de la biodiversité, injustice sociale, etc.). De plus, si certains auteurs relèvent que ce type de développement demande plus d'argent pour construire des routes et réseaux, d'autres affirment que bien que les réseaux soient plus extensifs, ils sont moins chers à construire qu'en centre urbain dense. Quoiqu'il en soit la ville dispersée est une réalité, la question qui se pose est de savoir qu'en faire.

3.3. Les modèles alternatifs

Les débats contradictoires entre les partisans de la ville compacte et ceux de la ville diffuse ont menés au développement de plusieurs positions « intermédiaires » qui tentent de combiner les meilleurs aspects de ces deux modèles, et, dans un même temps d'en éviter les désavantages. Ces alternatives tendent toutes à combiner l'efficacité énergétique de la ville compacte avec des aspects plus larges de qualité de vie, glanés de la ville diffuse. Parmi ces modèles intermédiaires, on peut notamment citer avec Holden et Norland [2005] :

- L'extension planifiée a pour objectif de satisfaire à l'ensemble des points de vue sociaux, économiques et environnementaux en tentant de développer des communautés équilibrées, non congestionnées et respectueuses de l'environnement et du paysage. L'objectif de ce type de développement est d'augmenter la quantité de terres urbaines pour obtenir les objectifs économiques et sociaux d'une politique dispersée mais sans les impacts environnementaux dus à sa non-planification. Les idées principales sont reprises de E. Howard et son concept de « cité-jardin » qui essayait de tirer parti du meilleur de la ville et de la campagne. Il organise ainsi une migration contrôlée des aires urbaines congestionnées vers des communautés planifiées et équilibrées sur des sites vierges. Ce type de développement a été stoppé dans les années 70 au Royaume-Uni en raison de la fin des budgets nécessaires à la construction et parce qu'ils ont été désignés comme responsables de la dépréciation des centres villes [EPSRC, 2009]. Dans le cadre du développement durable, on a vu plus récemment apparaître des « quartiers durables » qui

reproduisent à plus petite échelle certains de ces principes.

- Le « new urbanism » se base sur le concept de la densité « différenciée » : elle ne peut pas être la même partout mais dans tous les cas, elle doit être de qualité. Il met également l'accent sur le rôle de la forme urbaine dans la gestion des transports en postulant que les villes fonctionneraient mieux si elles pouvaient offrir des transports publics qui les relient à des banlieues à densité relativement élevée avec une occupation des sols mixte. En plus de leurs propositions sur les transports, la restauration des centres existants et des villes à l'intérieur de régions métropolitaines cohérentes est proposée. Ce courant se veut avant tout une réponse aux problèmes des banlieues nord-américaines typiques. [Bochet B., 2007]
- Le « smart growth » ou « croissance intelligente » est un courant développé depuis les années 90, principalement en Californie comme réaction à l'étalement urbain et ses conséquences. Il se réfère à des formes d'urbanisation plus compactes, plus propices aux cheminements piétons en proposant de densifier les zones urbaines aux abords des lignes de transport en commun, en réhabilitant les friches, etc.

3.4. Synthèse

Le tableau suivant propose une synthèse des principaux avantages économiques, sociaux, environnementaux et en termes de ressources des modèles de la ville compacte, de la ville diffuse et de l'extension planifiée. Le modèle de la ville compacte présente des avantages essentiellement en ce qui concerne les aspects environnementaux et les ressources alors que les avantages du modèle de la ville diffuse sont plutôt économiques. En termes d'aspects sociaux, les modèles de la ville compacte et de la ville diffuse présentent chacun des avantages que les modèles intermédiaires tentent de combiner. Le modèle intermédiaire entend proposer des avantages pour chacune des catégories.

Modèle	Economie	Social	Environnement	Ressources
Ville compacte	Réduit le coût des déplacements en réduisant les besoins en transport	Cohésion sociale et vitalité Equité sociale	Réduction des émissions de CO ₂ , protection des paysages naturels	Réduction de l'utilisation des sols, réduction d'énergie (?)
Ville diffuse	Réduit le coût de vie et de production	Diminue le prix et réduit la promiscuité Confort et bien-être	Moins d'exposition au bruit et à la pollution	Augmentation de l'utilisation des sols, meilleur potentiel d'énergie renouvelable
Modèles intermédiaires	Réduit les coûts de déplacements grâce à des communautés plus mixtes	Réduit l'engorgement, cohésion sociale	Protections du paysage	Bon potentiel pour l'utilisation des énergies renouvelables

Tableau 4 : Comparaison des principaux avantages des modèles de villes © [EPSRC, 2009]

4. Les méthodes d'évaluation environnementale

4.1. L'échelle du quartier

De nombreux modèles et techniques ont été développés et validés ces dernières années pour étudier et simuler le comportement des bâtiments, en vue d'en améliorer les performances énergétiques et environnementales. Ces modèles adoptent, en général, la perspective du bâtiment, en le considérant comme une entité autonome et en négligeant l'importance de phénomènes qui apparaissent à des échelles plus larges [Ratti C., Bakker N., Steemers K., 2005].

Or, si le contexte urbain a été largement ignoré dans les analyses traitant de la qualité environnementale des bâtiments, l'approche « bâtiment » n'est plus suffisante du point de vue de l'aménagement durable du territoire et de la raréfaction de nos ressources puisque les décisions prises à l'échelle d'un quartier ont des conséquences importantes sur les performances énergétiques des bâtiments. Celles-ci dépendent en effet de nombreux critères définis au stade du plan masse : compacité, orientation, valorisation des apports solaires, etc. [Popovici E., Peuportier B., 2004]. L'organisation à l'échelle du quartier permet également de réduire le coût et d'augmenter l'efficacité des équipements collectifs (comme le chauffage urbain, le traitement des eaux ou des déchets) par rapport à des systèmes individuels [Hanson C., 1996] alors que la localisation du quartier et ses caractéristiques en termes de mixité fonctionnelle notamment auront une influence sur les habitudes de déplacements des habitants. Le choix de l'échelle du quartier répond ainsi à la nécessité de mettre en application un certain nombre de préceptes et de méthodes de gestion particuliers, qui touchent à l'énergie comme à d'autres thématiques comme les déplacements, les réseaux, etc.

Situé entre l'échelle de la ville, qui peut présenter une complexité inhibante, et celle du bâtiment, trop parcellaire, l'échelle du quartier apparaît intéressante en termes opérationnels, car elle est particulièrement bien adaptée à l'expérimentation de pratiques spécifiques visant l'accroissement de la durabilité. Elle permet en effet d'appréhender la réalité urbaine dans une échelle suffisamment grande pour toucher à de multiples thèmes qui dépassent la dimension du bâtiment considéré, mais suffisamment restreinte pour visualiser des interventions concrètes [Rey E., 2008]. Le quartier constitue enfin un ensemble de vie cohérent et correspond mieux au niveau de résolution de nombreux problèmes (collecte des déchets, limitation des nuisances, etc.) [Cherqui F., 2005], notamment en facilitant la concertation entre acteurs par rapport à des échelles plus larges. Il convient finalement de relever que si la qualité environnementale des bâtiments tend à s'améliorer en Europe, les expériences menées à l'échelle du quartier restent peu nombreuses. Indirectement symptomatique de l'émergence relativement récente du champ d'investigation qu'est le quartier, les multiples labels qui fleurissent aujourd'hui se limitent ainsi pour la plupart au bâtiment.

4.2. Problématique

Etudier les consommations énergétiques globales à l'échelle du quartier, ou de la ville, implique de considérer l'influence de la forme urbaine sur les besoins et consommations, tant en matière de bâtiments que de transport. Si d'une manière générale, il est admis qu'une ville plus compacte exerce un effet favorable sur le report modal vers les transports publics et sur la fréquence et la durée des déplacements, l'influence de la densité sur les consommations d'énergie soulève une controverse sur la validité des arguments et finalement sur la faisabilité des principes de durabilité couramment avancés. Philip Steadman semble être le premier à avoir pris en compte à la fois les questions de transport et d'habitat. Son point de vue théorique sur l'aménagement urbain concerne la forme et la densité. Son attention se porte d'avantage sur les consommations d'énergie par les secteurs du transport, commerce et logement considérant que l'industrie est largement indépendante de la forme urbaine. Il admet qu'une densité urbaine accrue réduirait les besoins en énergie dans le transport mais contribuerait à augmenter les factures énergétiques des bâtiments dus à l'augmentation des besoins en éclairage et rafraîchissement et réduirait l'exploitation des gisements solaires. Il explique, qu'à l'inverse, un aménagement urbain peu dense contribuerait à un rendement énergétique plus intéressant grâce aux gains solaires mais au prix d'une plus grande demande d'énergies pour le transport [PUCA, non daté]. Parmi les études publiées plus récemment, on peut remarquer Holden et Norland [2005], qui ont réalisé une analyse sur 8 quartiers résidentiels d'Oslo en partant de l'hypothèse qu'il existe une connexion entre les caractéristiques d'occupation du sol et les consommations énergétiques des ménages en termes d'énergie et de transport. Ils ont montré que la ville compacte peut être une forme urbaine durable mais que la concentration décentralisée peut mener à des consommations énergétiques plus réduites, et ce, de trois façons : tandis que la durée des transports journaliers diminue dans les zones densément peuplées, les aires urbaines centrales représentent le plus haut niveau de transport pour les loisirs, notamment en avion ; l'accès à un jardin privé limite les besoins de transports de loisirs ; la différence de consommation d'énergie entre logement unifamilial et collectif est réduite dans les logements construits après 1980, ce qui indique que les conclusions établies sur le logement efficace énergétiquement devraient être questionnées.

En termes d'influence sur les déplacements, Newman et Kenworthy [1999] ont mis en évidence un lien entre la densité et la consommation d'énergie. Mais il ne fait pas l'unanimité et différents auteurs ont déconstruits la simple relation causale entre une haute densité et diminution des déplacements car elle ne peut pas être attribuée uniquement à la densité. Il a été démontré que si le prix réel du fuel comparé au revenu est inclus dans l'analyse, la densité joue un petit rôle dans la consommation d'énergie [Gordon P., Richardson H. W., 1997]. Une explication plus plausible est que dans les villes qui ont des moyens de transport bon marchés (coût des véhicules et du fuel), les gens ont tendance à se déplacer plus loin de façon à avoir plus d'espace de vie et pour autant que les prix soient plus faibles dans les zones périurbaines. Il en résulte des développements à faible densité. Donc, le coût du transport est la cause de la densité plutôt que la densité est la cause d'une faible consommation de fuel. Fouchier [1997] constate quant à lui que l'équation « densification = moins d'usage de la voiture = moins de pollution » n'est pas directement valable et qu'il faut être prudent dans les conclusions à tirer. En fait, l'idée qu'une forte densité constitue un milieu favorable à l'usage des modes de transports alternatifs n'est applicable qu'à un certain type de déplacements, celui du domicile-travail caractérisé par la régularité et l'unicité de l'origine comme de la destination. S'ajoute à

cela la fait que la concentration de plusieurs millions d'habitants et de toutes les activités économiques de la ville peut conduire à de graves problèmes de congestion et ainsi contrarier les objectifs écologiques de sauvegarde de l'environnement et d'économies d'énergie. Ainsi les avantages de la concentration peuvent se transformer en désavantages si les coûts économiques, sociaux et environnementaux liés à la congestion dépassent les bénéfices en termes de gain énergétique de la ville compacte [Bochet B., 2007]. Boarnet and Crane [2001], sont ainsi considérablement septiques sur la relation entre design urbain et comportements de transport. Après avoir analysés plusieurs cas d'étude, ils estiment que si l'utilisation du sol et la forme urbaine influencent les comportements de transport, c'est en agissant sur le prix des déplacements⁷.

Ewing et Cervero [2001] concluent, sur base d'un grand nombre d'études de cas, que l'impact de la densité sur la réduction des déplacements en voiture reste marginal. Ils évaluent l'élasticité à -0,05 ce qui signifie que doubler la densité d'un quartier réduit simplement les déplacements en voiture de 5% puisque la congestion va augmenter. Au mieux, les consommations d'énergie et les émissions de CO₂ vont diminuer légèrement. Au pire, elles augmenteront car les performances des moteurs sont nettement moins bonnes s'il y a de la congestion. Breheny [1995] met également en évidence des réductions mineures en termes de diminution des consommations énergétiques dues au transport, grâce au modèle de la ville compacte. En assignant à différentes zones anglaises des performances égales à celles des districts métropolitains et villes principales (zones qui présentent les consommations les plus faibles), le gain total en matière d'énergie due au transport n'est que de 34%. L'hypothèse adoptée est par ailleurs irréalisable. Il en déduit donc, que les gains obtenus par la ville compacte ne pourrait, au mieux, engendrer des diminutions de l'énergie consommée en transport que de 10 à 15%, et ce moyennant beaucoup de temps et des politiques très strictes.

4.3. L'énergie des bâtiments

La recherche de la durabilité urbaine pose le problème de savoir comment évaluer les propositions pour de nouveaux développements ou simplement les améliorations à apporter aux bâti et quartiers existants pour en améliorer la durabilité. Sans une base acceptée pour comparer des alternatives, il peut être difficile de justifier le choix d'un projet par rapport à un autre. Les méthodes pour évaluer / mesurer la durabilité à l'échelle du quartier peuvent être regroupés en 3 catégories :

- Les méthodes de types check-list, très simplifiées ;
- Les méthodes basées sur des simulations thermiques et des modèles mathématiques ;
- Les analyses de cycle de vie.

Remarquons encore que la plupart des méthodologies existantes restent essentiellement présentées de façon sectorielle, par thématiques, et ne proposent pas d'approche globale.

⁷ « La densité fait diminuer le coût des transports » plutôt que « la densité est la cause de la diminution de la consommation de carburant ».

4.3.1. Les méthodes de type « check list »

Les méthodes de type « check list » ou méthodes par point sont des méthodes d'évaluation de la durabilité très simplifiées qui sont constituées d'un certain nombre de critères avec cases à cocher. Si elles ne donnent pas de résultats chiffrés et restent très superficielles, elles tirent leurs avantages de leur simplicité d'utilisation et peuvent constituer un outil d'accompagnement / de sensibilisation utile pour les collectivités locales encore peu rodées aux concepts de la durabilité urbaine mais ne peuvent prétendre constituer un réel outil d'aide à la conception.

Dans cette gamme de méthodes, on peut mentionner :

- La méthode BREEAM a été élaborée par le Building Research Establishment au Royaume Uni. Le principe sur lequel elle se base consiste à accorder des points (« crédits ») à un projet en fonction de critères de performance (besoins énergétiques, émissions de CO₂, etc.) ou techniques (présence d'un local vélo, hotte dans la cuisine, etc.). Le nombre de point accordé à chaque niveau de performance et à chaque technique n'a pas été justifié par un bilan environnemental, ce qui serait sans doute très difficile en toute généralité. Le principal intérêt de cette méthode est de constituer une « check list » permettant de ne pas oublier un point important dans la conception ou l'évaluation d'un projet. Son succès auprès des promoteurs tient aussi dans sa simplicité d'usage.
- La méthode HQE2R (haute qualité environnementale et économique dans la réhabilitation et le renouvellement des quartiers) est un projet de recherche et de démonstration, co-financé par la commission européenne. Il a réuni, entre 2001 et 2004, dix organisations et 13 villes partenaires dans sept pays européens avec comme objectifs de proposer des outils, des méthodes de diagnostic et des guides de recommandations et d'aides à la décision pour les opérations d'aménagement et de renouvellement urbain. Il propose une méthodologie basée sur des thématiques susceptibles d'inclure le développement durable dans l'aménagement et le renouvellement à destination des collectivités locales et de leurs partenaires. La méthode aborde les différents domaines de la durabilité urbaine de façon sectorielle, ce qui ne permet pas de rechercher des optima globaux. La méthode permet notamment de faire des compensations (une cotation médiocre dans un domaine est compensée une bonne cotation dans un autre). A titre d'exemple, une cible est intitulée « énergie » et comprend les sous-cibles : efficacité énergétique (chauffage et ventilation), efficacité énergétique (électricité), utilisation des énergies renouvelables, gaz à effet de serre.

De manière générale, une grande prudence est requise dans l'utilisation de ces méthodes simplifiées, en particulier en ce qui concerne les jugements de valeur implicitement contenus dans les évaluations (pondération, structuration entre critères, etc.). Ces méthodes généralistes répondent finalement plus à des besoins à court terme, résultant souvent de démarches plus subjectives que techniques. L'expérience montre qu'elles ne conduisent pas toujours à réduire les impacts environnementaux des bâtiments.

4.3.2. Les méthodes basées sur des simulations thermiques et modèles mathématiques

L'utilisation de modèles mathématiques, qui permet de quantifier⁸ certains aspects de l'environnement urbain, est souvent présentée comme l'approche la plus crédible dans une option globale de durabilité. Plusieurs approches existent dans la littérature en ce qui concerne la relation entre forme urbaine et consommation d'énergie [Maizia M. et al, 2009] :

- La première approche est basée sur les modèles de simulation de bâtiments. Steemers [2003] analyse par exemple des carrés de 400 mètres de côté dans la ville de Londres avec un outil LT⁹. L'objectif est d'établir des relations entre forme urbaine et énergie en considérant aussi des caractéristiques détaillées des bâtiments (conductivité thermique des parois extérieures, pourcentage de fenêtres, etc.). L'analyse est basée sur trois paramètres géométriques (profondeur des bâtiments, prospect de la rue, compacité). Une analyse similaire est réalisée par Ratti, Baker et Steemers [2005]. Les indicateurs sélectionnés par ces auteurs sont les distances entre façades, leur orientation et les obstructions à l'éclairage. L'analyse est appliquée à trois villes. L'avantage de cette approche est de permettre de singulariser l'impact de la forme urbaine sur la consommation d'énergie, bien que cette recherche couvre uniquement l'énergie du bâtiment et pas les transports.
- La seconde approche est basée sur une approche statistique afin de prédire la consommation des bâtiments. Le modèle EEP (*Energy and Environmental Prediction model*), par exemple, développé par l'Université de Cardiff et l'*Engineering and Physical science Research Council* a pour objectif de quantifier les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ d'aires urbaines, en prenant compte les bâtiments, résidentiels et non-résidentiels, le transport et l'industrie. Il se base pour ce faire sur plusieurs sous-modèles qui abordent chacun de ces thèmes. L'outil est un outil d'aide à la décision et à la planification de villes plus durables déjà utilisé par certaines autorités locales au Royaume-Uni. La méthodologie adoptée pour évaluer la consommation énergétique des bâtiments résidentiels se base sur une typologie des bâtiments réalisée principalement sur base de leur forme (20 groupes définis sur base de la surface chauffée, de la façade, du ratio fenêtre / murs, de la hauteur des étages et du périmètre exposé et de la typologie des bâtiments (mitoyen, etc.)) et de leur âge [Jones et al, 2001]. A chacun des 100 types de bâtiments obtenus est attribuée une consommation d'énergie annuelle et une émission de CO₂, obtenues sur base d'enquêtes statistiques. Les sous-modèles sont tous validés, à l'exception de celui qui concerne les transports. Cet outil permet de comparer différentes politiques énergétiques au niveau urbain. La forme urbaine n'est pas prise en compte directement, mais intervient au travers de la typologie des bâtiments. Il est également possible d'appliquer cette méthode à des agglomérations urbaines plus larges, mais cela requiert de classer tous les types de bâtiments de l'agglomération dans la typologie existante.
- La troisième approche est basée sur l'estimation des consommations d'énergie pour différents types d'occupation du sol. L'avantage de cette approche est de couvrir une

⁸ Le sommet de la terre de Rio, par exemple, affirme, dès 1992, la nécessité de disposer d'une information quantitative pour mesurer les progrès vers la durabilité. Dans son chapitre 40, l'agenda 21 invite les pays signataires à élaborer des indicateurs de développement durable (IDD) afin qu'ils constituent une base utile pour la prise de décision.

⁹ Lighting and thermal model

large gamme d'occupation et de coupler bâtiment et transport. Steadman et al [1998] adoptent cette approche pour comparer différentes organisations urbaines de la ville de Swindon (ville compacte, développement polycentrique le long de lignes de transports, lotissements dispersés, etc.). Cette approche dépend fortement de la qualité et de la disponibilité des données pour les usages sélectionnés ainsi que du type de bâti (multi étage, maisons isolées, etc.). L'impact de la forme urbaine est ici évalué à l'échelle de l'agglomération et pas à celle, plus opérationnelle, du fragment urbain.

- On peut, enfin, remarquer une approche intermédiaire, adoptée notamment par Maizia et al. [2009] qui est basée sur des simulations énergétiques appliquées à des blocs urbains représentatifs.

4.3.3. Les méthodes d'analyse de cycle de vie (ACV)

Dans le contexte de la montée en puissance de l'attention environnementale, l'analyse de cycle de vie (ACV) est devenue une partie indispensable du développement durable [Verbeeck G., Hens H., 2007]. L'approche par analyse de cycle de vie (ACV) est ainsi adoptée le plus souvent au niveau international pour évaluer les impacts environnementaux d'un produit. Il s'agit de comptabiliser les substances émises et puisées dans l'environnement sur le cycle de vie d'un produit, depuis sa fabrication (y compris l'extraction des matières premières) jusqu'à sa fin de vie (y compris le traitement des déchets créés), en passant par toutes les étapes de son utilisation. La méthode d'analyse de cycle de vie consiste à évaluer les aspects quantifiables de la qualité environnementale et laisse donc de côté les aspects plus qualitatifs comme l'atteinte aux paysages, par exemple. Elle permet donc, via la quantification de l'ensemble des échanges physiques entre un système et son environnement, d'évaluer sa contribution à différents effets sur l'environnement, de préciser et d'explicitier les choix de réduction des impacts. En présentant des résultats détaillés, l'ACV donne des possibilités de modélisation qui permettent de rechercher les améliorations du bilan global, en tenant compte, en outre, des évaluations techniques, économiques et sociales.

L'analyse de cycle de vie a été élaborée en premier lieu pour des produits industriels. Son application au secteur du bâtiment doit donc s'effectuer de manière prudente : chaque bâtiment est en général unique, et entretient des liens forts tant avec le site dans lequel il s'insère qu'avec ses occupants [Peuportier B., Polster B., non daté]. De plus, la stabilité dans le temps, sur laquelle repose l'analyse de cycle de vie est problématique dans le cas d'un bâtiment (durée de vie longue et modifications qui apparaissent pendant la durée de vie). Une analyse de cycle de vie se déroule en quatre phases : la définition des objectifs, l'inventaire, l'évaluation des impacts sur l'environnement et la recherche d'améliorations.

Les trois méthodes décrites ci-dessous sont des méthodes d'analyse de cycle de vie développées pour être appliquées aux échelles du bâtiment et du quartier. Elles sont basées sur des outils de simulation thermique numérique (voir chapitre précédent), pour représenter la réalité de façon assez précise.

- Le projet EQUER consiste à développer un outil d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments sur 4 phases (construction, utilisation, rénovation, démolition), afin d'aider les acteurs à mieux cerner les conséquences de leurs choix. C'est

un outil de simulation simplifiée qui permet de modéliser la construction, l'utilisation, le renouvellement des composants et la déconstruction d'un bâtiment, en tenant compte de la réutilisation et du recyclage éventuels. Le principe général suivi est d'améliorer la qualité de l'ambiance intérieure tout en réduisant les impacts environnementaux externes. L'objectif fonctionnel fixé est que le bâtiment doit permettre un certain nombre d'activités pour lesquels il est prévu, avec un certain niveau de confort, de qualité de vie, etc. puis il faut chercher à minimiser l'impact environnemental en comparant des variantes répondant aux exigences fonctionnelles énoncées. L'objet d'étude, l'unité fonctionnelle au sens de l'analyse de cycle de vie est donc un bâtiment répondant à ces exigences et considéré sur une certaine durée. Le champ d'analyse est élargi et permet des études plus globales : l'énergie, par exemple, n'est plus appréhendée comme une simple quantité de kWh mais appréhendée selon une série de critères environnementaux, elle ne concerne pas que le chauffage et l'éclairage, d'autres aspects non liés à l'énergie, comme la gestion de l'eau sont pris en compte, etc. La méthode EQUER a été élaborée par une équipe comportant deux centres de recherches (le centre d'énergétique de l'école des mines et l'institut d'évaluation des risques industriels (INERIS)) et des professionnels de la construction. La base de données Oekoinventare (version 1996), aussi connu sous le nom de Ecoinvent, et des données collectées dans le cadre du projet européen REGENER sont utilisées en ce qui concerne les impacts de fabrication des matériaux de construction et des autres procédés. [Peuportier B., Polster B., non daté] L'étude se réalise pour un bâtiment en particulier et les sorties se font sous forme d'éco-profil à 12 indicateurs environnementaux.

- La méthode ADEQUA développée dans le cadre de la thèse de doctorat de Cherqui [2005] se situe à l'interface entre méthode de type « check list » et analyse en cycle de vie. L'objectif est de proposer un outil d'aide à la décision lors de la réalisation ou de la réhabilitation d'un quartier résidentiel pour pouvoir visualiser les conséquences, positives et négatives, d'un projet. La démarche est basée sur 8 objectifs évalués à partir d'un ensemble d'indicateurs dont la grande majorité est quantifiable. La comparaison des alternatives est réalisée grâce à des diagrammes radar qui permettent à l'utilisateur d'interagir grâce à la visualisation immédiate des changements de diagrammes, en fonction de la modification des données [Cherqui F., 2005].
- Le logiciel ARIADNE est un outil d'analyse de cycle de vie d'un quartier, applicable aux projets d'aménagement dans le cadre du développement durable. Il permet de comparer différents projets ou alternatives. ARIADNE complète un ensemble d'outils élaboré à l'échelle du bâtiment, dont le logiciel d'analyse de cycle de vie des bâtiments EQUER pour l'évaluation environnementale de chaque type de bâtiment du quartier, puis prend également en considération les autres composantes du quartier, y compris leur utilisation pendant le cycle de vie du quartier (pertes, consommation d'eau, d'électricité, etc.) [Popovici E., 2006].

Les limites principales des approches en cycle de vie portent sur l'absence de prise en compte d'aspects qualitatifs comme la qualité de vie ou l'esthétique, l'imprécision des évaluations des indicateurs (sur l'évaluation des flux et l'agrégation des effets), les erreurs liées à la période d'analyse (il est par exemple difficile de prévoir l'évolution des techniques constructives,

méthodes de recyclage, etc.), et l'incertitude qui pèse sur les données d'entrée nécessaires à l'évaluation (base de données suisses).

4.4. Le transport

Dès le début du 20^{ème} siècle, des premiers modèles mettant en évidence le lien entre transport et urbanisation apparaissent. Ils sont assez descriptifs ou analytiques en s'attachant principalement à tenter d'expliquer la localisation des activités. Parmi les plus influents, on trouve le modèle de Von Thünen qui a cherché à expliquer la localisation des activités agricoles autour des villes en considérant que le seul facteur de structuration de l'espace est constitué par la distance des terres au marché urbain. Burgess a développé, au milieu des années 20, un modèle fondé sur la théorie des zones concentriques et Hoyt (1939) a construit un modèle basé sur des processus à structure radiale qui délimitent des secteurs particuliers en forme de cônes. Bien que ces modèles n'apportent que de faibles justifications théoriques et sont dépassés ou limités pour décrire la situation des villes actuelles, ils ont fourni un cadre de simulation urbaine important et une base solide sur laquelle s'appuie des travaux plus récents [Deymier G., Nicolas J.-P., 2005]. Depuis, de nombreux modèles d'interactions entre transport et urbanisme (aussi appelés modèles « LUTI » pour Land Use and Transport Interaction) et de prédiction des flux se sont développés. Ils sont variés, tant du point de vue des fondements théoriques sur lesquels ils s'appuient que des techniques complexes de modélisation qu'ils emploient. Parmi les applications de ces modèles, on peut citer le travail de Steadman et al [1998] qui évalue 5 scénarios d'évolution différents grâce au modèle TRANUS (modèle de simulation de l'utilisation des sols et des transports). Etant donné un réseau de transport et une distribution des emplois, le logiciel calcule la distribution des autres activités (logements, services, etc.) en zones, selon les contraintes de terrains disponibles. Il prédit ensuite le nombre de déplacements qui en résultent (domicile-travail et domicile-services), séparé par mode de transport (voiture privée, bus). Ces déplacements sont attribués aux routes du réseau en prenant en compte les temps de déplacements et les effets de congestion. Le modèle permet de calculer les consommations de fuel pour les secteurs des bâtiments domestiques et du transport des personnes. Développés pour étudier des phénomènes à l'échelle des villes et agglomérations, ces modèles sont difficilement transposables dans le cadre de l'étude qui nous occupe. Plutôt que d'étudier les modèles de prédiction des flux, nous nous attacherons donc à décrire dans cet état de l'art des méthodes basées sur des enquêtes statistiques ainsi que des méthodes simplifiées d'aide à la décision.

4.4.1. Les méthodes basées sur des enquêtes statistiques

Evaluer les consommations énergétiques, ou les émissions, attribuables au transport des personnes nécessitent de connaître les flux de déplacements (kilomètres parcourus, modes de transport utilisé, etc.). Un certain nombre de méthodes existantes propose de se baser sur des données statistiques existantes (enquête nationale, etc.).

- Le bilan carbone est une méthode développée par l'ADEME qui permet de comptabiliser les émissions de gaz à effet de serre d'une entreprise ou d'une collectivité. Le tableur développé permet de connaître les émissions de gaz à effet de serre engendrées par une activité, soit directement (à cause d'une chaudière par exemple), soit indirectement (à cause de l'électricité utilisée, du transport des matériaux, de la construction d'un bâtiment,

de la fin de vie des déchets, etc.). Le but de la méthode Bilan Carbone est de fournir un diagnostic qui servira à la mise en place d'actions visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le module « territoire » applique cette vision globale (émissions directes et indirectes) à l'ensemble des activités prenant part sur un territoire donné. En ce qui concerne les transports des personnes, la méthode se base sur une enquête transport menée en 1993-94 par l'INSEE qui donne le nombre de déplacements, la distance parcourue et la répartition modale pour 8 zones en France. Les émissions de gaz à effet de serre sont obtenues grâce à un coefficient qui dépend du parc automobile français et de ses performances. Pour calculer les émissions attribuables à un utilisateur des transports en commun pour le trajet domicile-travail, la méthode utilise simplement la distance moyenne française (12 km) multipliée par 220 jours et un coefficient qui permet de donner des émissions de GES. On trouve dans le guide les facteurs d'émissions par km.passagers pour différents types de bus publics [ADEME, 2007].

- Les cartes d'accessibilité de la CPDT exploitent également les données statistiques disponibles (ici à une échelle plus fine puisqu'il s'agit du quartier statistique). L'objectif de ces cartes [Voir chapitre 7.5 pour une illustration] est d'identifier les lieux où il existe une bonne accessibilité par les modes alternatifs à la voiture et de les distinguer de ceux où existe une forte dépendance à l'égard de celle-ci. L'accessibilité mesurée tient compte de l'offre en bus, en train et de la facilité à se déplacer à pieds et en vélo. Elle est basée sur les données du recensement de 1991, relatives aux déplacements domicile-travail. Cette mesure est une estimation de la répartition modale associée à un lieu. Les déplacements domicile-travail sont analysés du point de vue du lieu de travail et du point de vue du lieu de résidence. L'outil permet, lors de tout projet d'urbanisation, d'analyser sa localisation sous l'angle de l'accessibilité par les alternatives à la voiture mais ne donnent pas de données chiffrées sur les consommations énergétiques ou émissions de gaz à effet de serre. L'étude prend en compte la fréquence de passage des trains et bus aux gares et arrêts et la distance de ces arrêts à chaque point (50 pixel) du quartier. Parmi les hypothèses, il est considéré qu'un marcheur ne parcourt pas plus de 500 mètres pour atteindre un arrêt de bus ou ne gravit pas plus de 60 mètres sur cette distance. Pour les modes doux, les critères pour quantifier l'accessibilité sont la densité de population et une fonction basée sur la probabilité de se déplacer uniquement à pied ou à vélo qui dépend de la distance à parcourir¹⁰.
- Le groupe IBI [2000] a développé, pour la société canadienne d'hypothèques et de logement et Ressources naturelles Canada, un modèle des émissions de gaz à effet de serre provenant du transport urbain personnel en faisant varier certaines caractéristiques des quartiers (y compris la conception de la collectivité et des logements), la composition socio-économique et des facteurs d'emplacement. L'approche adoptée est basée sur la régression multivariée qui permet d'examiner comment une seule variable dépendante (les véhicules-kilomètres par ménage, par exemple) est affectée par les valeurs d'une ou plusieurs variable(s) indépendante(s). Le modèle est composé de 3 sous-modèles : la possession d'une voiture, les véhicules-kilomètres déplacements en auto et les passagers-kilomètres de déplacement en transport en commun. Un tableur est mis en place afin de

¹⁰ cpdt.wallonie.be, consulté en décembre 2009.

faciliter l'utilisation du modèle mathématique pour évaluer les propositions d'aménagement en fonction des émissions de gaz à effet de serre. L'utilisateur introduit des données sur les caractéristiques du quartier et l'outil prévoit les émissions, par ménage, provenant des déplacements. Les résultats obtenus au moyen de l'outil servent à traiter, dans le cadre de l'étude, de la durabilité de 9 scénarios de quartiers. Ces scénarios contrastants sont obtenus par croisement de 3 concepts de quartiers (lotissement de faible densité mono-fonctionnel, lotissement de densité moyenne, lotissement néo-traditionnel) et de 3 contextes urbains (secteur interne, banlieue interne, banlieue externe situés respectivement à 5, 10 et 30 kilomètres du centre-ville et qui intègrent divers degrés d'accès aux emplois et transports en commun). Le chiffrier a été élaboré à partir de données pour la région métropolitaine de recensement de Toronto et il n'a pas été testé ou validé pour d'autres villes.

- L'étude AUTRE [PUCA, non daté] part de quelques études statistiques ayant porté sur la forme urbaine pour dégager les paramètres clés qui pourraient permettre de décrire les déplacements urbains grâce à un modèle mathématique. Plus concrètement, l'étude s'attache à créer des règles mathématiques liant des paramètres de la forme urbaine à des données de description des déplacements en veillant à pouvoir agréger ces relations pour en faire un modèle complet. Elle s'attache à répondre à trois questions :
- Existe-t-il un lien entre la forme urbaine et l'offre d'infrastructures de transport, lequel ?
- Quel lien entre cette offre, la forme du tissu et la façon de se déplacer des habitants dans ce tissu ?
- Quel bilan énergétique découle de cette manière de se déplacer ?

Cette étude française ne considère que les déplacements réguliers des personnes, donc pas le transport de marchandises ou les déplacements exceptionnels (tourisme, etc.). Les considérations sociologiques (les questions d'âge, de catégories socioprofessionnelles, de revenus, etc.) n'interviennent pas en tant que paramètre. Les données nécessaires sont le nombre de déplacements (flux), les distances qui s'y rapportent et le mode de transport utilisé (parts modales). L'étude AUTRE travaille à l'échelle de la commune car c'est l'échelle la plus fine à laquelle des informations statistiques sont disponibles en quantité en France.

Ces quelques études basées sur des données statistiques permettent de donner des grandes tendances en termes de transport et restent relativement simples d'utilisation. Il convient toutefois de remarquer que ces méthodes sont basées sur des données qui proviennent souvent de recensements peu récents et disponibles à une échelle assez grossière (au mieux le quartier statistique belge). Elles sont, de plus, basées sur des données locales qui présentent des spécificités et leur transposition à d'autres territoires pose question. Enfin, derrière les tableaux proposés, se cachent parfois des approximations grossières, par exemple en termes de consommations des véhicules.

4.4.2. Les méthodes simplifiées

L'émergence des considérations environnementales et de durabilité dans de nombreux domaines, dont la construction et l'aménagement du territoire ont conduit, comme nous l'avons déjà évoqué, au développement de méthodes de sensibilisation, d'évaluation des

projets ou d'aide à la décision proposant aux concepteurs et autorités des outils simples pour évaluer la qualité environnementale des nouveaux développements ou des projets de rénovation de quartiers existants. Certaines de ces méthodes proposent un volet dédié spécifiquement au transport et permettent d'évaluer l'impact du transport en termes de consommations de ressources ou d'émissions de gaz à effet de serre.

- Le logiciel d'analyse de cycle de vie EQUER, dont il est question au chapitre 4.3.3, propose de prendre en compte le transport en parallèle à 4 autres domaines (l'eau, les déchets, les matériaux et l'énergie). En fonction du type de site choisi (urbain, banlieue, rural ou isolé), des valeurs par défaut sont proposées pour les distances domicile-travail, domicile transports et domicile commerce. Il est toutefois possible de modifier ces valeurs par défaut. Les autres paramètres pris en compte sont la présence de pistes cyclables, le pourcentage d'occupant effectuant le trajet journalier domicile-travail et le mode de transport en commun utilisé (train ou bus). Le modèle repose sur une série d'hypothèses sur la fréquence des trajets et leur nature :
 - Les trajets domicile-travail sont effectués 5 jours par semaine et 47 semaines par an ;
 - Les trajets domicile-commerces sont effectués une fois par semaine pendant 47 semaines par an ;
 - Si la distance domicile-travail est inférieure ou égale à 250 mètres, le logiciel considère que ces trajets sont réalisés à pieds ou en vélo ;
 - Si la distance domicile-transport en commun est supérieure à 500 mètres, alors les trajets domicile-travail sont effectués en voiture, sinon ils sont effectués en transport en commun et le trajet domicile-transport en commun est effectué à pieds ou en vélo ;
 - Si la distance domicile-commerces est supérieure à 300 mètres, alors ces trajets sont effectués en voiture, sinon ils sont effectués à pieds ou en vélo.

L'approche « transport » proposée par EQUER est assez réductrice, et si elle peut être utile dans le cadre d'une rapide comparaison entre deux sites d'implantation potentiels par exemple, elle reste trop simplifiée dans le cadre de l'étude qui nous occupe. On peut enfin remarquer que la méthode ARIADNE d'analyse environnementale à l'échelle du quartier se base en partie sur EQUER et ne propose aucun complément quand à la prise en compte du transport des personnes dans l'évaluation.

- L'étude SOLUTIONS [EPSCR 2006 et 2009] s'inscrit dans un contexte de pressions pour de nouveaux développements autour de la ville de Cambridge. L'objectif est de développer et d'évaluer, dans un contexte de développement durable, quatre scénarios alternatifs d'urbanisation qui pourraient être appliqués dans les 30 prochaines années. L'étude qui part du principe que les développements périurbains existants compromettent le développement durable concerne le design, la forme urbaine et le transport et aborde tant des aspects quantitatifs que qualitatifs. Quatre types de développements sont définis sur base des pratiques anglaises : les « *pods* » (« cul-de-sac » monofonctionnel), les « *cells* » (développement de quartiers indépendants), le « *cluster* » (quartiers reliés entre eux) et le « *linear* » (développement mixte le long des voies de transport principales). Un système d'indicateurs de durabilité est défini et concerne :

- La quantité de terrains nécessaires pour construire le nouveau développement (nombre d'hectares perdus par habitant) ;
- La distance moyenne de tous les logements à la sortie du développement ;
- L'accessibilité aux écoles et commerces de proximité (% d'habitants qui se situent à moins de 600 mètres d'une école primaire, moins de 1.500 mètres d'une école secondaire, moins de 800 mètres d'un centre local ou d'un supermarché) ;
- L'accessibilité aux transports publics (bon si 5 à 11 services par heure, médiocre si 2 à 4 services et pauvre si moins de 2). La distance à l'arrêt doit être inférieure à 400 mètres, sauf dans le cas d'un transport très fiable et régulier où une distance à l'arrêt de 600 est admise ;
- L'accessibilité à des espaces ouverts (distance à un parc, la campagne, etc.) ;
- Les déplacements en vélos et à pied ;
- La vitalité du commerce ;
- L'acceptabilité politique et publique (approche qualitative basée sur des entretiens) ;
- La faisabilité institutionnelle et le marché (approche qualitative basée sur des entretiens) ;
- La praticabilité physique.

La méthode proposait à l'origine une approche assez simplifiée permettant de donner un état des lieux sur base d'une évaluation rapide de chacun des indicateurs ci-dessus sur base de l'observation. Elle a ensuite été élargie pour introduire les données relatives à chaque région dans des modèles qui prévoient le comportement probable des usagers jusqu'en 2031 et évaluent les impacts probables des options alternatives. L'énergie utilisée pour les transports est évaluée avec le modèle TEMMS et l'énergie consommée par les bâtiments est dérivée de profils types et d'une enquête logement. La méthode permet de calculer l'utilisation d'énergie dans le domaine du transport en abordant la longueur des routes, les flux de véhicules et la vitesse en fonction des consommations d'essence et d'énergie répertoriée pour 72 classes de véhicules.

5. Les réglementations environnementales en Wallonie

5.1. Les réglementations en matière d'utilisation du sol

Les pouvoirs publics wallons ont longtemps favorisé l'étalement urbain, que ce soit par la construction d'un réseau routier dense (nous avons vu que la périurbanisation est liée au relâchement des contraintes de mobilité et donc, que si la vitesse de déplacement augmente, il devient utile de limiter et contraindre les zones urbanisables), par des politiques d'aide à l'accès à la propriété ou par des outils d'aménagement du territoire [CPDT, 2005]. Les plans de secteur (conçus entre 1969 et 1979 et adoptés entre 1977 et 1987) présentent ainsi des disponibilités foncières (les zones rouges) qui dépassent largement les besoins. Ils n'ont, il est vrai, pas été élaborés dans une optique d'utilisation rationnelle du sol mais se sont souvent contentés de consacrer une affectation de fait au moment de leur élaboration. Remarquons de plus que leur révision semble difficile de car elle engendrerait de compenser la perte financière liée au passage d'une zone urbanisable à une zone non urbanisable.

Plusieurs politiques de requalification et de renouvellement urbains ont bien été mises en place dès les années 60. Les premières opérations furent pratiquées dans l'esprit du tout à l'automobile (les grandes percées pour amener l'autoroute au cœur des villes marquent ainsi une rupture assumée avec les typologies héritées) alors que les opérations menées dans les années 70, dénotent d'une attention plus marquée pour le patrimoine et les considérations sociales, encouragée par la mobilisation croissante des associations environnementales. La politique de rénovation urbaine de la Région wallonne voit le jour dans ce contexte et vise à maintenir l'âme et la structure de quartiers déshérités, en améliorant l'attractivité des centres urbains et en leur redonnant une dynamique sociale et économique. La revitalisation urbaine¹¹ est plus récente puisqu'elle n'apparaît qu'au début des années nonante et instaure la notion de partenariat public-privé (PPP) considéré comme un élément important pour le redéploiement des noyaux urbains, auquel les communes et, de manière plus générale les autorités publiques, ne peuvent plus faire face seules, sans intervention financière du privé. Cette revitalisation est pratiquée dans une optique de retour en ville puisque la Région wallonne prend à sa charge, moyennant l'existence d'une convention¹² avec un ou des opérateurs privés, la réalisation des voiries et des espaces publics. Plus récemment, les procédures de réhabilitation des friches industrielles ou le remembrement urbain sont venus compléter l'arsenal wallon des outils supposés favoriser les investissements en centre urbain, en jouant sur la simplification administrative et la réduction des

¹¹ La revitalisation urbaine, malgré son nom, permet à un projet de lotissement périphérique de bénéficier des mêmes subsides qu'un projet de logements dense en centre ville.

¹² L'octroi de subventions régionales aux communes désirant mener une opération de revitalisation urbaine est soumis à l'existence d'une convention liant la commune à un ou des opérateurs privés. Le principe qui sous-tend la revitalisation urbaine est que, pour chaque euro pris en charge par la Région, l'opérateur privé doit investir deux euro au minimum, dont au moins un dans une ou plusieurs actions relatives à la transformation ou à la création de logements.

délais. Si l'objectif principal de ces différentes politiques est d'inciter les communes à planifier des développements suffisamment attractifs pour inciter les opérateurs privés¹³ à investir des capitaux en milieu urbain et freiner ainsi le phénomène de périurbanisation (où le financement des voiries et espaces publics est à charge du promoteur), la Région ne se dote par ailleurs d'aucun outil permettant de réellement contraindre les développements périurbains (par exemple en y réduisant l'offre foncière ou la superficie des parcelles) qui restent attractifs à de nombreux points de vue. Halleux et al. [2004] citent ainsi un certain nombre de raisons qui poussent les investisseurs à préférer la périphérie plutôt que les centres urbains. Ces blocages au recyclage morphologie sont liés à l'acquisition foncière, aux surcoûts techniques, à la délivrance des autorisations ou encore à l'obtention de financements.

L'article 1 du CWATUPE¹⁴ prône pourtant « *l'utilisation parcimonieuse du sol et de ses ressources, par la performance énergétique de l'urbanisation et des bâtiments, et par la conservation et le développement du patrimoine culturel, naturel et paysager* ». La désurbanisation a fait également l'objet d'attentions dans le SDEC¹⁵ et le SDER¹⁶ mais on en note pas pour autant de politique publique pour lutter contre les blocages en centre ville dont il est question plus haut et diminuer la périurbanisation. Halleux [2007], parle ainsi d'une gouvernance multiple et écrasée avec, d'un côté les documents de référence en matière du territoire qui prônent tous une utilisation parcimonieuse de la ressource sol et, de l'autre côté, des objectifs sectoriels (notamment en terme de fiscalité immobilière) et des intérêts municipalistes qui poussent à en consommer toujours davantage.

Plusieurs régions et pays européens ont pourtant réussi à mettre en place, parfois depuis de nombreuses années, des politiques et réglementations contraignantes visant à maîtriser l'étalement urbain. En Grande Bretagne, par exemple, le « *Town and country Planning Act* » prévient, avec succès, la périurbanisation de plusieurs grandes villes, dès 1947 [Hall et al, 1973 cité par EPSR, 2009]. En Flandre, on note depuis quelque temps des politiques volontaristes pour enrayer le phénomène : politique publique de rénovation urbaine et planification foncière plus active. Le « *Ruimtelijk Structuurplan Vlanderen* » (sorte de SDER), adopté par le Gouvernement flamand en 1997, intègre ainsi les principes du développement durable dans ses objectifs et entend limiter la périurbanisation, notamment via la fixation d'un seuil de densité minimum pour les nouveaux quartiers (parcelles maximales de 4 ares par habitation urbaine et de 6,5 ares pour

13 Si l'on cherche à mieux localiser les nouveaux projets immobiliers, l'intervention des particuliers ne suffira pas (tendance à favoriser financièrement les particuliers avec des aides, etc) et c'est l'action des promoteurs professionnels qui permettra de bien « territorialiser » les investissements. Si l'on tient à recycler la ville et à limiter la désurbanisation, c'est donc aussi l'action de ces opérateurs qu'il faut piloter. [Halleux J.-M., Lambotte J.-M., 2008]

14 Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, du Patrimoine et de l'Energie, version du 12 juin 2009.

15 Le Schéma de Développement de l'Espace Communautaire définit, à l'échelle de l'Union européenne des objectifs politiques et des principes généraux de développement spatial en vue d'assurer un développement durable équilibré du territoire européen et respectueux de sa diversité [<http://europa.eu>].

16 Le Schéma de Développement de l'Espace Régional dit notamment que « *pour éviter la dispersion de l'habitat et renforcer les villes et villages, il est nécessaire d'accroître la densité de l'urbanisation et particulièrement autour des lieux centraux : ceux-ci permettent en effet d'offrir une variété d'activités dans un espace restreint, facilitent l'organisation de services et moyens de transport performants, économisent l'espace et réduisent les coûts d'équipement* ». sder.wallonie.be, consulté en février 2010.

les autres). Ce document d'aménagement stratégique n'a pas de valeur légale mais le promoteur qui le respecte a plus de chance de voir son permis accordé par la commune. La conséquence directe est que la taille des parcelles diminue. Au vu des résultats, on voit donc que l'action de la puissance publique peut infléchir les évolutions. La Suisse, enfin, s'est fixé comme objectif stratégique la stabilisation de la surface d'urbanisation au niveau de 400m² par habitant, ce qui permettrait d'économiser, d'ici 2020, une surface d'environ 23.000 hectares par rapport à la poursuite de la tendance actuelle [CF, 2000 cité dans Rey E., 2008].

5.2. Les réglementations en matière de performance énergétique

Le premier règlement relatif à l'isolation thermique des bâtiments en Région wallonne entre en vigueur en 1985, dans la foulée des premières réflexions sur la performance énergétique des bâtiments qui font suite à la première crise pétrolière des années 70. Il impose, pour les nouveaux logements, un niveau d'isolation thermique global maximal K70¹⁷. En 1996, un second règlement thermique wallon renforce la réglementation et exige :

- Pour le logement neuf :
 - des valeurs U_{max}¹⁸ imposées pour les différents types de parois ;
 - de ne pas dépasser un niveau d'isolation thermique global K55 ou Be450 ;
 - de respecter la norme de ventilation NBN D50-00¹⁹.
- Pour les rénovations avec permis d'urbanisme :
 - des valeurs U_{max} imposées pour toutes les nouvelles parois de déperditions ;
 - des exigences pour la ventilation : conformité à la norme NBN D50-001 si changement d'affectation ou obligation d'insérer des ouvertures d'amenées d'air dans les châssis remplacés.

La Directive européenne sur la Performance Énergétique des Bâtiments (DPEB 2002/91/CE) exige dès 2002²⁰ des Etats membres qu'ils appliquent des exigences minimales en matière de performance énergétique pour les bâtiments neufs et existants, veillent à la certification de la PEB et imposent l'inspection régulière des chaudières et systèmes de climatisation dans les bâtiments. Elle propose en outre une méthodologie commune de calcul de la performance énergétique intégrée des bâtiments. En Wallonie, la DPEB est transposée dans le Décret du 19/04/2007 intégré au CWATUPE. Il comprend diverses définitions, décrit le champ d'application, la méthode de calcul, les exigences de la PEB, le certificat PEB, les sanctions, etc²¹. Il est mis en application au travers de différents arrêtés du gouvernement, accompagnés sur le terrain de formations et d'outils. L'entrée en vigueur des exigences de ce décret est progressive :

¹⁷ Le niveau global d'isolation thermique K caractérise la qualité thermique de l'enveloppe d'un bâtiment. Plus le K est faible, plus le bâtiment est isolé. Le K globalise les déperditions par transmission au travers des parois du bâtiment et dépend de l'isolation, de la surface des parois et de la compacité (référence : norme NBN B 62-301 de 1989).

¹⁸ Coefficient de déperditions par transmission

¹⁹ Une ventilation conforme à la NBN D50-001 consiste en l'obligation d'installer une ventilation naturelle (A), semi-mécanique (C) ou mécanique avec récupération de chaleur (D).

²⁰ Publiée en janvier 2003, elle devait être transposée au plus tard pour le 04/01/2006

²¹ <http://energie.wallonie.be/>

- 01/09/08 : phase provisoire de la PEB avec passage de $K < K_{55}$ à $K < K_{45}$.
 - Pour les bâtiments neufs : $K < K_{45}$, valeurs U_{max} et normes de ventilation ;
 - Pour les bâtiments rénovés avec permis : U_{max} et ventilation.
- 1/05/10²² : application de la réglementation PEB, abandon du niveau K pour parler en litres de mazout par m² et par an.
 - Pour les bâtiments neufs : U_{max} et $E_{w23} < 100$, norme de ventilation, surchauffe, $E_{car,ann,prim24} < 170 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$;
 - Pour les bâtiments rénovés²⁵ : U_{max} , ventilation ;
 - Pour les changements d'affectation : U_{max} , $K < K_{65}$, ventilation.
- 1/09/11 : renforcement des exigences
 - $E_{car,ann,prim} < 130 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ pour les bâtiments résidentiels.

Des contrôles devraient aussi être réalisés pour vérifier la bonne adéquation entre les résultats obtenus sur le terrain et les prévisions mentionnées dans le cahier des charges lors de l'introduction d'une demande de permis, ce qui n'est pas le cas actuellement. Car si la Région wallonne s'est dotée depuis plusieurs années d'outils réglementaires en matière de performance énergétique des bâtiments, en pratique la vérification du respect de ces exigences d'isolation et de ventilation par les communes est souvent sommaire, les contrôles sur chantier extrêmement rares, la poursuite des contrevenants presque inexistante. Selon certaines sources, 90% des nouvelles constructions ne respectent pas les normes d'isolation en vigueur [CFDD, 2003 cité dans CPDT, 2005].

La DPEB est transposée et d'application, depuis janvier 2007 en Région flamande, et, depuis juillet 2008 en Région Bruxelles-Capitale. Le tableau suivant compare les principaux indicateurs de la PEB en vigueur à l'heure actuelle (janvier 2010) dans les trois régions du pays.

Critères PEB	Bruxelles	Flandre	Wallonie
Niveau K max.	K 40 depuis le 02/07/08	K 45 depuis le 01/01/06	K 45 depuis le 01/09/08
Niveau Ew max.	Ew 90 obligatoire depuis 02/07/08 et Ew70 obligatoire à partir du 02/07/11	Ew100 depuis le 1/1/07	Ew100 facultatif à partir du 1/9/08 et obligatoire à partir du 01/05/10
Norme de ventilation NBN D50_001	Obligatoire depuis le 02/07/08	Obligatoire depuis le 01/01/06	Obligatoire depuis 1996

²² Une première entrée en vigueur était planifiée au 1^{er} septembre 2009 mais a été reportée.

²³ Niveau de consommation d'énergie primaire qui se calcule en multipliant par 100 le rapport entre consommation annuelle d'énergie primaire et consommation annuelle d'énergie primaire de référence. Le calcul intègre les caractéristiques de l'enveloppe, l'étanchéité, les équipements de chauffage, la ventilation, l'implantation, la compacité et l'orientation du bâtiment, les systèmes solaires passifs et actifs, l'éclairage, etc.

²⁴ Niveau de consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire du bâtiment par m² de surface de plancher chauffé, en kWh/m².an.

²⁵ La Commission européenne travaille actuellement sur la révision de la DPEB, les exigences en matière de rénovation des bâtiments existants devraient être renforcées.

La comparaison avec d'autres pays européens est plus complexe, en ce sens que les pays qui ont adopté une approche proactive en la matière travaillent déjà avec des consommations maximales exprimées en kWh/m².an. La politique énergétique évolue toutefois dans le sens d'une homogénéisation au niveau européen, grâce à la DPEB.

5.3. Les réglementations en matière de déplacements

La gestion de la demande en transport des personnes est peu présente dans les objectifs politiques régionaux et fédéraux, l'accent étant davantage mis sur l'inter modalité. Le livre blanc européen sur les transports (2001) recommande que la demande en transport de personnes soit découplée de la croissance économique, ce qui n'est pas vraiment le cas à l'heure actuelle en Région wallonne. Ce type de découplage ne se retrouve pas non plus à l'échelle européenne. Les besoins en mobilité devraient par ailleurs idéalement être évalués en rapport avec la problématique de l'aménagement du territoire (recentrage de l'habitat et des activités en ville, mixité des fonctions, etc.). Il n'a y donc, à l'heure actuelle, aucune réglementation concrète à citer dans ce chapitre.

5.4. Quelques chiffres-clés

Quelques chiffres-clés, issus du rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007 [Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007], sont proposés pour clôturer l'approche spécifique à la périurbanisation en Région wallonne et cadrer les phases suivantes de travail, notamment en ce qui concerne les caractéristiques des logements au regard de la performance énergétique.

En termes de périurbanisation et d'utilisation du sol

En moins de 20 ans, la superficie totale des terres construites, des infrastructures et des équipements a augmenté de 18,2%. Alors que la superficie urbanisée s'élevait à 196.300 hectares en 1986 (soit 11,6% du territoire), elle atteignait 232.000 hectares en 2004 (13,7% de la superficie régionale). La progression de l'urbanisation s'opère non seulement par un étalement en « tâche d'huile » mais aussi par la construction sur des terrains isolés de certains lotissements ou zones d'activités.

Les résidences (appartements, logements, fermes, garages et annexes, jardins et parcs²⁶) occupent la plus grande part des terres urbanisées. En, 2004, la superficie couverte par les résidences occupait 106.600 hectares (soit 6,3% du territoire wallon), contre 85.000 hectares en 1986. Avec 26,5% de croissance, cette catégorie est celle qui évolue le plus vite en une vingtaine d'années. L'ensemble des équipements publics (bâtiments scolaires, militaires, administratifs, hospitaliers et sociaux, églises, stations d'épuration, etc.) et infrastructures occupe presque autant d'espace que les résidences. De 1986 à 2004, la superficie occupée par les équipements publics est passé de 10.000 à 12.000 hectares et celle des infrastructures de transport de 83.000 à 87.000 hectares (soit une augmentation respective de 23 et 4,3%). La croissance des infrastructures de transport a cependant ralenti depuis les années 90.

²⁶ Leur prise en compte dans la catégorie « résidences » est justifiée par l'imperméabilisation, partielle ou totale des sols qu'ils entraînent.

Les communes situées dans les agglomérations sont celles où l'urbanisation augmente le moins rapidement, avec une croissance comprise entre 10 et 20% (pour un total de +6.400 hectares) entre 1986 et 2004. Cet accroissement relativement faible s'explique par le volume moindre de terrains non bâtis disponibles en ville, et par leurs prix plus élevés, mais aussi par l'influence du modèle de la villa située dans une grande parcelle dans un environnement « vert » qui influence d'ailleurs de plus en plus l'implantation des entreprises. C'est dans le premier cercle autour des agglomérations, celui des communes de banlieue, que l'urbanisation progresse le plus avec une hausse de 20 à 30% (+8.100 hectares). La grande banlieue (zone des migrants alternants), les petites villes et les communes rurales connaissent des évolutions comparables avec des taux d'urbanisation proche de 20% (+21.500 hectares).

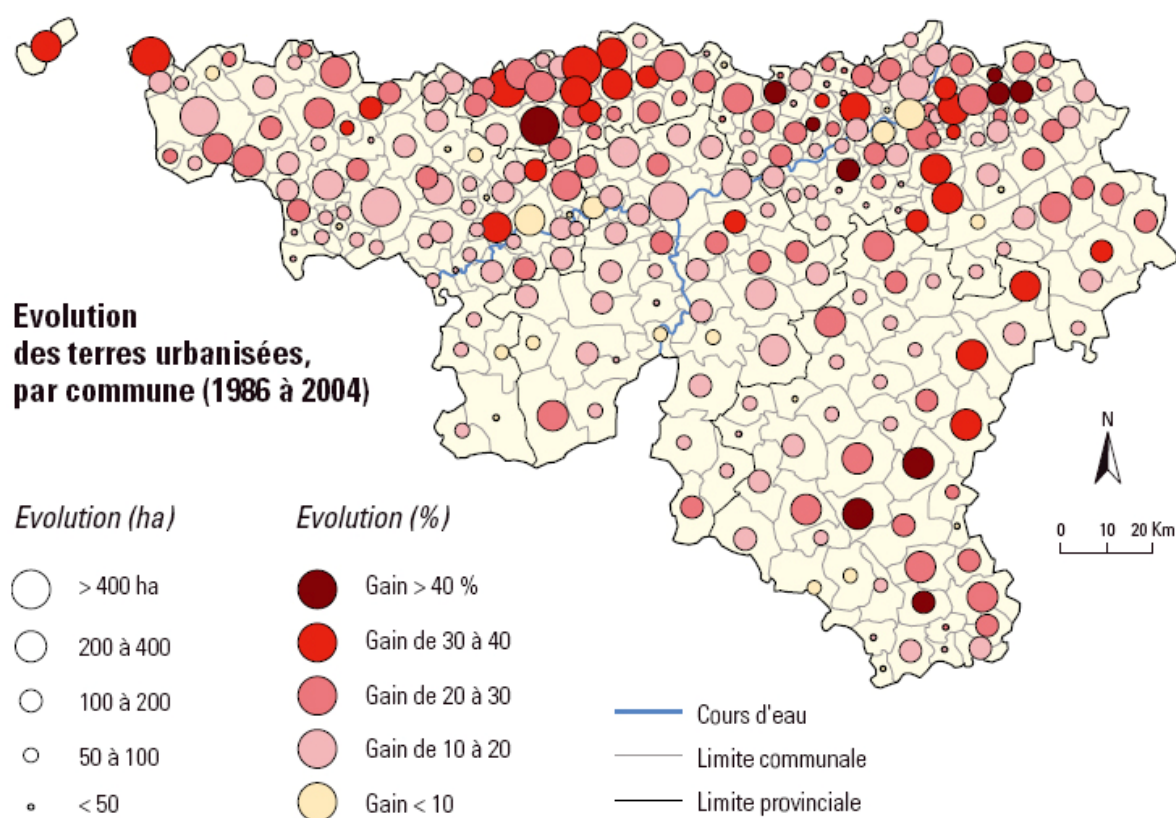


Figure 8 : Evolution des terres urbanisées par commune (1986 à 2004) © [Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007] sur base de SPF Economie - DGSIE (INS – Occupation du sol – 2004)

Entre 1991 et 2001, le pourcentage de maisons « 4 façades » est passé de 37,5% à 35%, certainement en raison de l'augmentation des prix sur ce segment du marché. Au total, lors du recensement de 1991, 80% des ménages wallons habitaient dans une maison unifamiliale, à 2, 3 ou 4 façades contre 81,5% en 2001. Le nombre de ménages a augmenté de 11,6% entre 1991 et 2001 et leur taille s'est réduite de 6,6% pendant la même période.

	« 4 façades »	« 3 façades »	« 2 façades »	Appartements
1991	37,5%	17,3%	25,2%	19,7%
2001	35,0%	18,0%	28,5%	17,1%

Tableau 5 : Evolution des différents types de logements en Région wallonne © [Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007] sur base de SPF Economie – DGSIE (INS – Enquêtes socioéconomiques 1991 et 2001).

En termes de logements et de performance énergétique des bâtiments

Le Tableau 6, issu de l'enquête sur la qualité de l'habitat en Région wallonne [MRW, 2007] menée auprès des occupants de 6.014 logements, met en évidence que plus de 60% des logements wallons ont une superficie comprise entre 41m² et 150m². Les logements plus grands se retrouvent essentiellement dans deux types de tissus : les dernières extensions en discontinu et les aires de village et rurales.

	<28m ²	28-40m ²	41-100m ²	101-150m ²	151-200m ²	201-300m ²	>300m ²	total
Centre urbain	2,9%	2,6%	42,7%	28,4%	13,7%	7,3%	2,4%	100%
1° extensions	4,1%	1,5%	29,7%	35%	15,9%	10,2%	3,5%	100%
Dernières extensions	1%	1,6%	25,7%	33,5%	20,5%	14%	3,7%	100%
Parc résidentiel discontinu	0,5%	0,3%	22,1%	30,8%	24,8%	15,4%	6,2%	100%
Voies d'entrée	1%	1,4%	31,8%	27,7%	21,4%	12,9%	3,8%	100%
Ensemble homogène	0,7%	1,9%	51,8%	32,1%	9,6%	3%	0,9%	100%
Aire de village	<0,1%	0,5%	23,6%	32,1%	24,4%	14,4%	4,9%	100%
Aire rurale	0,2%	1,2%	23,2%	31,6%	23,5%	14,4%	5,9%	100%
Activité économique	0%	0%	33,7%	37,7%	16,7%	11,8%	0%	100%
Total	1,5%	1,5%	31,9%	31,5%	18,7%	11,1%	3,7%	100%

Tableau 6 : Superficies moyennes des logements © [MRW, 2007]

Cette enquête [Tableau 7] confirme le faible taux d'isolation général des maisons unifamiliales construites avant 1970, en cohérence avec l'absence de réglementation sur la performance énergétique des bâtiments.

	Avant 1875	1875-1918	1919-1945	1946-1970	1971-1990	Après 1990	TOTAL
Maison unifamiliale	8,2%	19,4%	19,8%	22,6%	19,2%	10,8%	100%
Aucune isolation toiture	43,8%	47,6%	44,7%	39,4%	23,5%	9,6%	36,1%
Pas	78,4%	87,2%	79,7%	71,1%	35,3%	11,1%	63,3%

d'isolation des murs extérieurs							
Pas de vitrage isolant	23,2%	22,5%	21,1%	22,3%	13,8%	1%	18,2%

Tableau 7 : Isolation des maisons unifamiliales © [MRW, 2007]

L'enquête sur la qualité de l'habitat en Région wallonne relève encore que 52,2% des toitures sont isolées thermiquement en totalité et 10,7% en partie. Dans plus de 75% des cas, le matériau utilisé est la laine minérale. Une analyse plus approfondie révèle qu'à peine 10% des toitures isolées disposent d'une épaisseur d'isolant supérieure à 12 cm, ce qui est relativement faible au vu des recommandations actuelles. Environ 50% des toitures isolées ont plus de 6 cm d'isolant, 36,4% ont entre 3 et 6 cm d'isolant.

Moins de 30% (28,9%) des murs extérieurs sont totalement isolés, 7% sont partiellement isolés et donc 64,1% sont non isolés. Ici aussi, l'épaisseur d'isolant est faible en regard des standards actuels. Deux tiers des logements qui ont des murs isolés datent d'après 1971. En termes d'épaisseur, 18,1% présentent entre 1 et 3 centimètres, 38% de 4 à 6 centimètres, 15,8% de 7 à 10 centimètres (pour 28,2% l'épaisseur d'isolant mis en œuvre n'est pas connue). Les matériaux les plus couramment utilisés sont les panneaux synthétiques (40,2%), la laine minérale (35,5%) et les matériaux naturels (18,8%). Plus de 80% des bâtiments wallons disposent en outre de vitrages isolants. On tombe toutefois à une proportion de 2 bâtiments sur 3 s'il s'agit de retenir uniquement les bâtiments entièrement équipés de vitrages isolants. Le matériau le plus utilisé pour les châssis est le bois (62,6% des constructions principales), puis le PVC (29,4%).

Il n'y a pas d'isolation des planchers dans 72,2% des bâtiments. L'isolation est totale dans 21,2% et partielle dans 6,5% des cas. L'épaisseur la plus couramment mise en œuvre est de 4 à 6 centimètres (31,8%) puis de 1 à 3 centimètres et de 7 à 10 centimètres (respectivement 20,9% et 20,1%). Les panneaux isolants sont le plus couramment utilisés (49,2%), suivis des mortiers isolants (30,4%) et de la mousse de polyuréthane (20,1%).

Pour les chaudières, si la puissance est inconnue pour 50% des cas, on peut constater que les chaudières de faible puissance sont rares (5,2% de chaudière de 10 à 20 kW). Les chaudières de 21 à 30kW et de puissance supérieure à 30kW représentent respectivement 22,9% et 22%. Les chaudières sont majoritairement âgées de 5 à 15 ans (35,7%), suivies des chaudières de plus de 15 ans (26,9%) et de moins de 5 ans (24%). 77% des logements disposent du chauffage central. Le combustible le plus utilisé par les ménages disposant de ce type de chauffage est le mazout (57%), suivi du gaz naturel (37,6%) et de l'électricité (5,3%). Les foyers individuels sont le plus souvent alimentés au bois (41%). L'enquête ne permet pas de différencier les ménages utilisant ce combustible à titre principal de ceux qui s'en servent comme appoint.

En termes de transport et de déplacements

Depuis 1995, le tableau de bord de l'environnement wallon [Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2008] constate une hausse quasi continue de la distance totale parcourue et de la distance moyenne parcourue par habitant et par an, en Région wallonne. La croissance des

déplacements est notamment liée à une répartition diffuse de l'habitat, à une augmentation du temps moyen disponible pour les loisirs ainsi qu'à l'évolution des modes de vie. En 2006, la répartition modale du transport de personnes en Région wallonne se répartit comme suit : 78,2% en voiture personnelle, 13,7% en bus et autocars privés, 5% en train et 3,1% en bus des TEC. 46% des déplacements effectués en Wallonie font moins de 4 kilomètres. Mais la part des modes lents pour les courtes distances reste insuffisante : plus d'un tiers des trajets de moins d'un kilomètre sont par exemple réalisés en voiture [Hubert J.-P., Toint P., 2002]. La marche et le vélo sont souvent considérés comme des modes de loisirs ou destinés à préserver la santé. Mais dans la vie quotidienne leur utilisation reste assez limitée en raison de la prédominance des modes motorisés et de considérations relatives à la sécurité, à la vitesse, à l'effort requis, au mauvais temps, au statut social [Mackett R.L., 2001].

Les déplacements domicile-travail, particulièrement importants en raison de leur caractère structurant et habituel susceptible d'influencer d'autres choix modaux, sont en constante augmentation. Ils représentaient 50% des déplacements en 1981, 60% en 1991 et 70% en 2001. La part des modes alternatifs pour les déplacements domicile-travail est assez faible et seul le train, sur des distances importantes, concurrence réellement la voiture [Hubert J.-P., Toint P., 2002]. De plus l'évolution des modes de vie et du marché de l'emploi, couplé à la démocratisation de la voiture, entraînent des comportements plus complexes, modifiant considérablement les logiques quotidiennes et complexifiant la modélisation du transport.

Les trois quarts des déplacements pour les achats se font en voiture contre 20% à pied [Hubert J.-P., Toint P., 2002], notamment à cause de l'émergence, ces dernières dizaines d'années de centres commerciaux de périphérie.

Les visites et les loisirs constituent un autre motif fréquent de déplacements. En Région wallonne, 7% des distances parcourues un jour ouvrable scolaire et 14% de celle réalisées un jour férié sont attribuables à des visites rendues à des proches. Les loisirs représentent quand à eux respectivement 4% et 14% de ces distances [Hubert J.-P., Toint P., 2002]. La voiture est choisie dans 80% des cas.

Cailly [2008] a par ailleurs montré, au départ d'entretiens visant à identifier les déplacements réalisés pendant un an dans la région de Tours (France), qu'il existe une spécificité des territoires du point de vue de la mobilité. L'objet de l'enquête est de mener une analyse systémique, à l'échelle individuelle, de l'ensemble des mobilités (travail, achats, sociabilités, loisirs, tourisme, etc.) à différentes échelles de temps (jour, semaine, année) sans les séparer des représentations sociales ou spatiales qui en fournissent un cadre d'intelligibilité. La condition des espaces périurbains (faible densité, distance au centre, éloignement des services et emplois, etc.) conditionne en quelque sorte un mode de vie singulier. Les habitants des périphéries étudiées se déplacent ainsi beaucoup plus, en distance, que les habitants des quartiers centraux et péri-centraux, quelque soit le motif de déplacement. Les habitants périurbains se déplacent par ailleurs beaucoup plus fréquemment en voiture qu'en vélo, à pied ou en transports en commun. Le taux de motorisation y est plus élevé (95% en seconde couronne, 90% en première couronne) que dans le centre (75%). Ces résultats obtenus pour une agglomération française particulière semblent toutefois traduire des réalités rencontrées dans d'autres territoires.

6. Les typologies des quartiers périurbains

La recherche bibliographique a mis en évidence la complexité de la notion de quartier périurbain et l'absence d'une typologie communément acceptée. Nous reprenons dans la première partie de ce chapitre les caractéristiques de quelques-unes des typologies existantes puis les critères qu'il conviendra d'ajouter à ces typologies existantes pour définir les 4 types de quartiers périurbains qui feront l'objet de notre étude.

6.1. Quelques typologies existantes

La typologie de [Hanin Y., Berthet T., 2003]

Hanin et Berthet [2003] proposent une typologie des quartiers périurbains de la province du Brabant wallon, basée sur leur mode de production. Ils considèrent le lotissement comme le résultat d'un processus de production, et sur cette base, mettent en évidence les 4 types de lotissements suivants :

- Le lotissement de quelques lots à bâtir est courant et connu. Il est de petite taille (de quelques dizaines d'ares à un hectare). La demande de permis de lotir est introduite par le propriétaire qui souhaite vendre rapidement. Il s'agit simplement d'une procédure administrative de division parcellaire. En général, il concerne l'urbanisation en ruban, sur des parcelles rectangulaires de 5 à 10 ares divisées par un géomètre / notaire. Le projet de bâtir est fondé sur les goûts et aspirations individuels. Il s'agit en quelque sorte d'une addition de démarches individuelles
- Le lotissement de nombreux lots à bâtir avec ouverture de voirie est également courant et connu. Il se situe aux limites des zones urbaines où l'écart est le plus important entre le prix des parcelles déjà viabilisées et à viabiliser. Instigué par un promoteur immobilier et un géomètre, le remembrement se fait par des acquisitions successives (maîtrise foncière) qui prennent du temps. L'approche est essentiellement économique, basée sur le compte à rebours²⁷. Les cahiers des charges et exigences des impétrants sont très variables selon les cas. Au final, on retrouve une addition d'actes individuels radicalement en décalage avec l'image présentée lors du permis et à la vente (le promoteur propose une image homogène alors que les lots sont vendus à des particuliers qui y construisent ce qu'ils veulent) ;
- Le lotissement de quelques lots à bâtis concerne une offre en terrains déjà bâtis (5 à 10 logements) dans des dents creuses urbaines ou des terrains soldes situés dans le noyau bâti traditionnel. Le permis de lotir est ici comparable à un permis d'urbanisme groupé. L'initiative vient d'un architecte associé à un promoteur immobilier. Les logements sont vendus, ou loués, ou occupés par les instigateurs. Il s'agit d'un travail intégré (constructions, espaces publics, gestion, etc.) avec un caractère communautaire plus

²⁷ Le compte à rebours est un bilan prévisionnel réalisé par un promoteur avant de se lancer dans une opération. Il vise à évaluer la faisabilité financière d'une opération au départ du prix de sortie désiré, des coûts de mise en œuvre du terrain et du prix d'achat du terrain.

développé. Les moyens financiers nécessaires sont plus importants que pour des lots non bâtis (acquisition et viabilisation du terrain + construction). La rentabilité de l'opération s'appuie sur la proximité d'un centre urbain, la réduction des superficies et la mitoyenneté. Les avantages de ce type de lotissement tiennent dans l'économie d'échelle et l'homogénéité des constructions mais on note souvent une absence d'intégration au quartier existant (espèce de no man's land isolé du tissu existant par des parkings, par exemple). L'expérience flamande montre que ce type de lotissements attire un type particulier de population (classe moyenne supérieure) attirée par la localisation centrale, la structure groupée et l'architecture ;

- Le lotissement de nombreux lots bâtis avec ouverture de voirie est une forme plus vaste (plusieurs hectares) du type précédent, qui porte sur la création d'un quartier avec plusieurs rues, placettes, proposant différents types de logements et des activités annexes (commerces, bureaux, crèches, etc.). Il concerne en général un terrain dont l'urbanisation n'est en général pas aisée (pentes, bois), proche d'un noyau urbain, d'une gare, d'un centre commercial et scolaire mais enclavé. Les avantages concernent la mixité sociale et fonctionnelle et la qualité élevée des aménagements. Le processus de négociation est progressif.

La typologie de [de Smet F., 2008]

De Smet [2008] propose, dans le cadre de sa recherche doctorale portant sur l'intégration des noyaux ruraux dans l'espace périurbain une méthode d'observation systématique basée sur une interprétation des caractères du bâti et de son substrat urbain, c'est-à-dire respectivement les constructions présentes sur un site et la maille (péri) urbaine – autrement appelée ilot urbain. Le travail se réalise sur base cartographique, à l'échelle de la région urbaine de Liège. Une des hypothèses de départ concerne néanmoins la possibilité d'élargir cette typologie à l'étude plus générale des territoires périurbains.

Dans un premier temps, une analyse typologique menée sur la commune de Neupré a permis de déterminer, par observation du site, les sept types de tissus prédéterminés mentionnés dans la première colonne du Tableau 8. Quarante sept sites cadrés par des fenêtres d'observations ont ensuite été sélectionnés afin de confronter cette première approche visuelle à un traitement systématique informatisé.

La typologie qui en ressort se base sur la configuration géométrique des tissus, l'homogénéité des constructions, le caractère d'additivité des constructions et la densité de l'urbanisation à l'intérieur de chaque fenêtre. Elle a permis de mettre en évidence les sept types de formes (péri) urbaines différenciés que l'on retrouve dans la seconde colonne du Tableau 8.

Cette classification de figures périurbaines est un premier pas vers une méthode d'évaluation de la potentialité de mutation de la forme urbaine. Cela dans une optique d'amélioration à la fois de ses caractéristiques qualitatives comme la lisibilité et la cohérence formelle et de ses caractéristiques plus quantifiables comme ses niveaux de qualités environnementales. Il faut rappeler également que ces mutations urbaines ne peuvent être dissociées de leur acceptation par les utilisateurs. Cette classification est également un outil de communication qui peut être efficace car est suffisamment déchargé de particularismes sensibles. De ce fait elle est un support potentiel de négociation.

Types prédéterminés par observation	Types après méthode
Linéaire régulier : ruban constitué de constructions pavillonnaires	-
Linéaire irrégulier : ruban constitué de constructions pavillonnaires et mitoyennes	-
Mitoyen régulier : nappe urbaine de constructions mitoyennes de taille similaire	Tissu mitoyen homogène : ensemble de bâtiments mitoyens, surfaces homogènes (cité sociale)
Noyau villageois : groupement en nappe de constructions principalement mitoyennes mais de tailles diversifiées	Tissu urbain traditionnel et complexe : ensemble de bâtiments principalement mitoyens, surfaces hétérogènes en taille (cœur de village)
Ensemble hétérogène : groupement de constructions mitoyennes et isolées, taille diversifiée	Tissu de constructions isolées et mitoyennes : intermédiaire entre habitat groupé et diffus (hétérogène)
Lotissement : nappe urbaine formée de constructions pavillonnaires	Tissu de constructions isolées homogènes (« lotissement ») : ensemble de bâtiments principalement isolés et homogènes
Ensemble exceptionnel : construction de taille importante	Bâtiments importants en taille : min 500m ² , activités économiques
-	Tissu de constructions isolées hétérogènes
-	Tissu de très faible densité : bâtiments isolés

Tableau 8 : Les types de quartiers déterminés par [de Smet F., 2008] sur base d'une observation sur site à gauche, et suite à l'application de la méthode développée à droite.

Les aires urbanistiques de la Région wallonne [MRW, 2004]

Le guide d'urbanisme pour la Wallonie édité par le Ministère de la Région wallonne est un instrument de dialogue entre les acteurs de l'aménagement du territoire, un outil d'aide à la conception et d'accompagnement de prise de décision qui formule et illustre un ensemble de principes généraux, sans caractère réglementaire, qui visent à encadrer et à stimuler la recherche et la création urbanistique et architecturale en Wallonie. Il distingue les 9 « aires différenciées²⁸ » types suivantes. Remarquons que certains résultats de l'enquête sur la qualité de l'habitat en Région wallonne [MRW, 2007] sont présentés selon cette typologie en aires différenciées. La répartition du bâti dans chaque aire différenciée est mentionnée [en %] à la fin de chacune des descriptions qui suivent.

- Centre urbain en bâti continu : aire constituée du noyau originel des bourgs et villes ainsi que leurs premières extensions. Les rues sont disposées en mailles formant des îlots. Les bâtiments sont généralement implantés en mitoyenneté et à l'alignement. Ils comprennent entre 2 et 4 niveaux sans gouttières. La densité de construction est forte [24,1%] ;
- Premières extensions urbaines en bâti semi-continu : cette aire constitue une transition entre les aires de bâti continu du centre et les aires résidentielles des périphéries, notamment en ce qui concerne la densité des constructions. Les premières formes d'urbanisation en

²⁸ Ce sont des zones caractérisées par des problématiques semblables ou des modes d'urbanisation homogènes.

extension du centre sont de type urbain. Par la suite, les modes d'urbanisation ont évolué : parcelles plus larges, constructions à trois façades ou isolées implantées avec un recul important par rapport à l'alignement. La juxtaposition de ces modes d'urbanisation a contribué à créer un paysage bâti hétérogène [14,3%] ;

- Dernières extensions urbaines en bâti discontinu : cette aire correspond aux zones résidentielles des périphéries d'agglomération. La densité est faible. Le modèle dominant est celui de la villa isolée [11,3%] ;
- Parc résidentiel en bâti discontinu : il se distingue de l'aire de bâti discontinu par sa forte proportion d'espaces verts et sa très faible densité de logements. Cette aire résidentielle, que l'on peut retrouver dans la périphérie de la plupart des grandes agglomérations, se compose de quartiers habités généralement par des personnes à haut revenus [5,2%] ;
- Voies d'entrée dans les localités : l'urbanisation le long des voiries d'entrée dans les villes et villages a fortement évolué au cours des 30 dernières années. D'abord affectés principalement à la résidence, ces espaces inscrits le plus souvent en zone d'habitat sont maintenant occupés par des activités de type commercial ou artisanal (garages, moyennes et grandes surfaces) [4,1%] ;
- Ensembles bâtis homogènes : ensembles architecturaux composés notamment de logements bâtis de façon répétitive formant ainsi une rue, un îlot ou un quartier. Ces ensembles résultent d'opérations menées soit par les pouvoirs publics pour la création de logements sociaux, soit par des promoteurs immobiliers ou des entrepreneurs (logements moyens ou bourgeois) [8,4%] ;
- Aire de village : correspond au territoire urbanisé du village. Elle comprend à la fois le noyau originel et ses extensions. Le noyau originel, souvent très homogène, est composé d'anciens bâtiments agricoles ou ouvriers. Les nouvelles habitations se sont développées en extension de ce noyau et parfois également au sein de celui-ci sous une forme totalement étrangère à sa structure : l'habitat pavillonnaire [22,4%] ;
- Aire rurale (en fonction du plan de secteur) : territoire non inscrit en zone d'urbanisation et se trouvant en zones agricoles, forestières, d'espaces verts, de parc, etc. [9,6%] ;
- Aire d'activité économique : destinées aux activités d'artisanat, de services, de distribution ou d'industrie [0,5%].

La typologie de l'IAURIF[1995]

L'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France [1995] a dressé un référentiel sur les densités et les formes urbaines afin de donner des repères communs, visuels et chiffrés sur la densité nette de différents types d'habitat dans la région Ile-de-France. Le choix d'échelle retenu correspond à l'îlot. Une typologie de 25 îlots urbains différents (sur base des 6 catégories du MOS²⁹ : individuel, individuel identique, rural, continu bas, collectif continu haut et collectif discontinu) a été établie. Elle inclut une vue aérienne de chaque îlot et une analyse des plans, modes d'occupation et densité et concerne les immeubles individuels et collectifs. Les types qui pourraient être transposés à notre étude traitant des tissus périurbains wallons sont ceux repris sous les catégories « individuel » et « individuel identique ».

²⁹ Le Mode d'Occupation des Sols a été conçu pour permettre, au niveau régional, de repérer notamment les secteurs d'habitat.

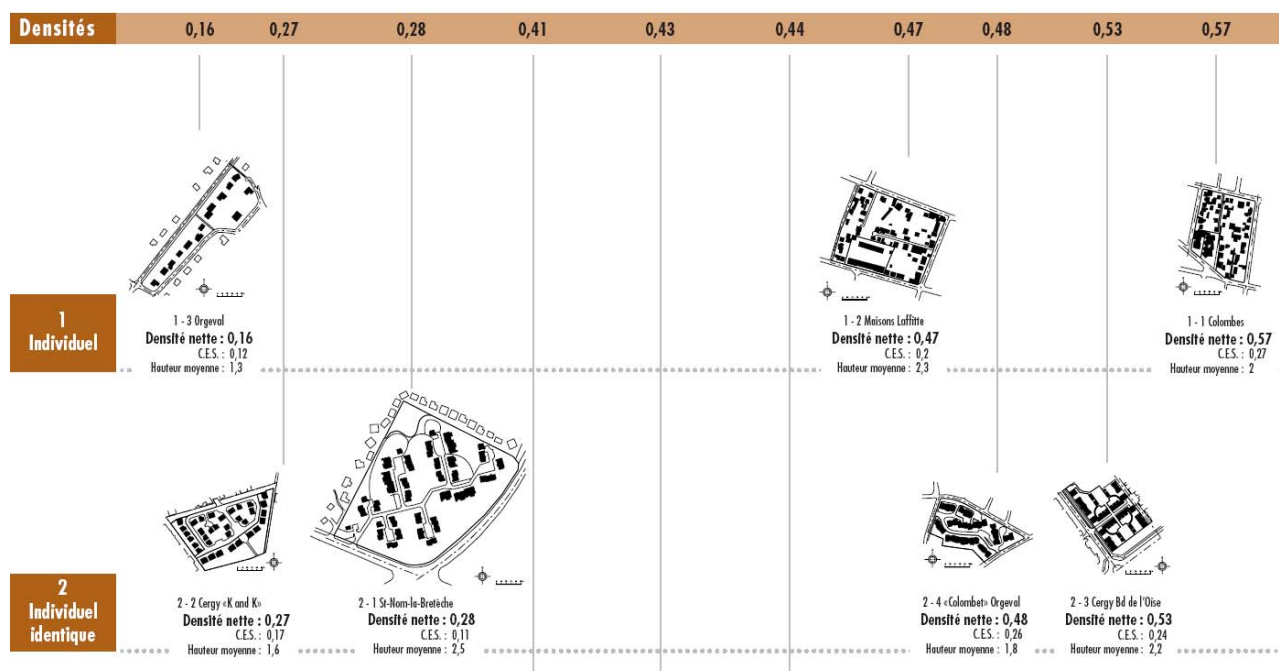


Figure 9 : 7 des 25 îlots types du référentiel de densités et de formes urbaines © [IAURIF, 1995].

La typologie des logements wallons de [Kints C., 2008]

Kints [2008] propose une analyse du parc des logements wallons avec pour but d'en identifier des segments prioritaires du point de vue de leur rénovation énergétique. Même si elle est élaborée à l'échelle du bâtiment et pas à celle du quartier, cette typologie est intéressante dans le sens où elle est établie dans un objectif énergétique (des solutions de rénovation sont proposées pour chaque type et pourront être étudiées dans la phase du travail traitant de l'amélioration de la situation existante). Les types proposés sont identifiés sur base de critères autres que leur niveau d'isolation (souvent médiocre) : âge, taille, configuration, localisation, caractéristiques constructives, type d'occupation, etc. Les quartiers de logements sociaux ne sont pas repris dans cette typologie. Les 8 types de logements déterminés, sur base des données de l'enquête socio-économique de 2001 et de l'enquête sur la qualité de l'habitat [MRW, 2007] sont :

- La maison de type vernaculaire : le plus souvent rurale à 4 façades, ancienne (du 18^{ème} jusque début du 20^{ème} siècle), volumétries diverses, grand volume habitable, matériaux et techniques constructives traditionnels (murs pleins, parfois très épais, en pierre ou en briques, charpente en bois, argile, chaux, etc. qui sont des ressources locales), valeur patrimoniale, héritage culturel à préserver, gaz naturel généralement non disponible, [6% des logements construits avant 1991] ;
- La maison urbaine moyenne, début du 20^{ème} : maison mitoyenne ou semi-mitoyenne, 5 à 6 mètres de façades, taille moyenne à grandes, plafonds hauts, rez+premier+combles, caves à voussettes, façades avant avec détails et ornementation (balcons, pierre), souvent manque de lumière naturelle au rez, à l'arrière, annexes plus récentes de qualité médiocre, matériaux traditionnels et industriels, gaz naturel généralement disponible, [environ 16%] ;
- La maison villageoise de l'entre deux-guerres : maison mitoyenne à grande, rez sur cave

(partielle) + un étage + combles, volumétrie simple, allongée, souvent volumes annexes en appentis, simplicité constructive et matériaux industriels (béton, brique en murs plein, acier ou bois), peu d'ornementations, gaz naturel partiellement disponible, [environ 5%] ;

- La maison ouvrière modeste : maison mitoyenne datant d'avant 1945, très petits volumes, plafond assez bas, pas de hall d'entrée, 2 pièces au rez, 2 pièces au premier, petite cave, simplicité constructive, souvent en mauvais état, problèmes d'insalubrité fréquent, gaz naturel généralement disponible (mais chauffage au charbon encore fréquent), [environ 18%] ;
- La villa des premières extensions urbaines : années 30 mais surtout 50 et 60, maisons moyennes à grandes, isolées ou jumelées, murs creux 1^{er} génération (ponts thermiques fréquents), souvent assez complexes : diversité de volumétries, jeux de matériaux, etc. Chauffage central au mazout fréquent, environ 6% des logements construits avant 1991
- L'appartement dans un immeuble de type « Etrimmo » : années 60 et 70, bâtiments avec balcons, ascenseurs, toits plats, plusieurs niveaux, ossature béton, acier, simple vitrage, souvent catastrophique au niveau de la qualité thermique, chauffage électrique fréquent, copropriété, [environ 6%] ;
- La maison 4 façades de type « lotissement » défini comme suit : années 70 et 80, d'abord en banlieue puis sur l'ensemble du territoire (urbanisation diffuse), rez-de-chaussée plus un étage, souvent partiellement en toiture, avec ou sans cave, matériaux de construction et mise en œuvre « conventionnels » : briques, béton, murs creux, etc., gaz naturel souvent absent, peu de problèmes de salubrité [13%] ;
- L'appartement dans un bâtiment divisé en plusieurs unités de logements : différentes configurations et âges des bâtiments, catégorie importante car ces logements sont le plus souvent loués (parc locatif privé qui comble le manque en logement social) et concentrent des problèmes de salubrité et de qualité [6%].

Synthèse

Aucune des typologies présentées ci-dessus ne peut être utilisée telle quelle pour déterminer les 3 ou 4 quartiers-types qui feront l'objet de l'analyse énergétique globale. La première [Hanin Y., Berthet T., 2003] est trop ciblée sur le mode de production alors que ce sont plutôt la forme urbaine ou les caractéristiques constructives qui importent dans le cadre de la présente étude. Si elle n'est pas utilisée actuellement, cette typologie sera intéressante lors des phases ultérieures de travail, où il s'agira de proposer de nouveaux modes de conception des tissus périurbains. Les trois typologies suivantes ([de Smet F., 2008], [MRW, 2004], et [IAURIF, 1995]) sont plus facilement applicables dans le sens où l'accent est porté sur les caractéristiques des tissus, la densité, etc. Outre [de Smet F., 2008], elles ne concernent toutefois pas spécifiquement les tissus périurbains. Nous proposons donc, sur base de ces 3 typologies, et en ne considérant que les types « périurbains » de travailler sur les 4 quartiers-types suivants :

- Le quartier de type « ruban » est à rapprocher des types « linéaire régulier » et « irrégulier » de de Smet [2008] et du type « voie d'entrée dans les localités » de MRW [2004]. Il s'agit d'un ruban de constructions pavillonnaires qui se développe entre deux noyaux ruraux. On y trouve les types de constructions de Kints [2008] « villa des premières extensions urbaines » et « maisons 4 façades de type lotissement » ;
- Le quartier de type « semi-mitoyen » est à rapprocher du « tissu mitoyen homogène » de de Smet [2008], de « l'ensemble bâti homogène » de MRW [2008] et de « l'individuel

identique » de l'IAURIF [1995]. Il s'agit de constructions mitoyennes ou semi-mitoyennes homogènes bâties de façon répétitives. C'est typiquement le genre de structure qu'on retrouve dans les quartiers de logements sociaux. Le type de bâtiments de Kints [2008] qui s'y implantent est « la maison ouvrière modeste ».

- Le quartier de type « nappe » est à rapprocher des types « tissus de constructions isolées homogènes » de de Smet [2008], « dernières extensions urbaines » et « parc résidentiel en bâti discontinu » de MRW [2004] et « individuel » de l'IAURIF [1995]. Il s'agit d'un tissu de constructions individuelles « à 4 façades de type lotissement » [Kints C., 2008] construites de façon individuelle par les ménages, souvent selon la formule du « clé sur porte » ;
- Le quartier de type « mixte » enfin se rapproche des types « tissu urbain traditionnel et complexe » et « tissu de constructions isolées et mitoyennes » de de Smet [2008] et des « aires de villages » de MRW [2004]. Il s'agit ici d'une tissu hétérogène, tant au niveau de la forme, de l'époque des constructions que des fonctions. Ce type se développe en général autour d'un noyau ancien, auquel il vient adjoindre des développements plus récents. C'est une combinaison de différents éléments caractéristiques des trois premiers types. On y retrouve donc une plus grande variété des types proposés par Kints [2008] : « villa des premières extensions urbaines », « maison 4 façades de type lotissement », « maison de type vernaculaire », « maison villageoise de l'entre deux-guerres ».

6.2. Les critères à considérer

Si les typologies présentées ci-dessous ciblent essentiellement les caractéristiques morphologiques des tissus (à l'exception peut-être des aires urbaines de la Région wallonne qui prennent, en plus, en considération un critère d'éloignement par rapport aux centres urbains), d'autres critères doivent être pris en considération dans le cadre de la présente étude qui se veut globale puisqu'elle intègre à la fois, les consommations énergétiques des bâtiments, et celles attribuables au transport des personnes et aux réseaux. Outre l'agencement des constructions les unes par rapport aux autres et l'âge du bâti, il conviendrait de prendre également en compte les critères suivants :

En termes d'implantation

- La superficie de la zone d'étude ;
- La taille des parcelles ;
- La mixité des fonctions au sein du quartier ;
- L'orientation.

En termes de localisation et de transport

- La distance par rapport à un centre urbain ;
- La desserte en transport en commun ;
- La proximité de commerces, services, écoles ;
- Les aménagements favorisant les modes doux.

En termes de population

- La taille des ménages ;
- La population active occupée, le nombre d'étudiants ;
- Le revenu moyen.

7. La sélection des cas d'étude

Pour chacun des 4 types de quartier déterminés ci-dessus, nous avons sélectionné un cas d'étude représentatif. Nous avons pris en compte dans ce choix, l'ensemble des critères repris dans le chapitre 6.2 (en tentant de proposer des quartiers qui présentent des caractéristiques différentes pour chacun de ces critères) et avons également veillé à répartir ces 4 quartiers sur l'ensemble du territoire wallon. Certaines analyses énergétiques réalisées en phase II se développent à l'échelle du bâtiment. Pour chaque type de quartier, nous avons donc également sélectionné quelques maisons-types qui feront l'objet de ces simulations « bâtiment ». Les critères pris en compte pour choisir ces maisons-types sont la position de la maison dans le quartier, son orientation, sa superficie habitable.

7.1. Le quartier de type « ruban »

Le quartier périurbain de type « ruban » est caractérisé par un étalement linéaire. Il est constitué de constructions pavillonnaires et, plus rarement, mitoyennes. Il s'est développé et se développe entre des noyaux villageois. L'arrière des rubans ne permet, en général, pas d'extension car il est souvent constitué de terres agricoles, de forêts, etc.

Le quartier de type « ruban » étudié se situe dans la province du Luxembourg. Ce quartier s'étend sur 1,8 kilomètre, entre les noyaux villageois de Saint-Vincent et de Bellefontaine. Il est constitué d'environ 60 maisons individuelles datant des années 60 à nos jours.



Figure 10 : Zone d'étude; extrait du plan de secteur et photographies

Le quartier est desservi par quelques lignes de bus (fréquence relativement faible), dont une ligne de ramassage scolaire. La gare la plus proche est celle de Marbehan à 8,5 kilomètres, soit environ 10 minutes en voiture. La gare de Marbehan est assez importante et permet d'accéder assez vite en train à Neufchâteau (10 min), à Libramont (15 min), à Arlon (15 min) ou encore à Luxembourg (30 à 40 min). En termes d'accessibilité en voiture, le quartier est bien situé car il est proche de plusieurs nationales et de l'autoroute E411. Il se trouve à 22 km de Neufchâteau (25 min), à 45 km de Libramont (32 min), à 30 km du centre d'Arlon (21 min) et à 55 km de celui de Luxembourg (40 min). Il s'agit d'un quartier où il semble difficile de vivre sans voiture.

7.2. Le quartier de type « semi-mitoyen »

Le quartier de type « semi-mitoyen » est caractérisé par un ensemble de bâtiments résidentiels, principalement mitoyens, présentant des superficies homogènes. L'exemple le plus courant répondant à ce type est la cité sociale. Le bâti de ce type de quartier est assez homogène de par une production par lots. Il s'agit en général d'un quartier monofonctionnel, bien situé, avec un rôle important de l'espace public.

Le quartier de type « semi-mitoyen » étudié se situe à Fontaine-l'Évêque, dans la province du Hainaut. Il s'agit d'une petite commune (2.840 hectares, 17.000 habitants), anciennement industrielle (mines, carrières, clouteries) située entre Charleroi et Binche, et qui passe petit à petit à un statut plus résidentiel, relativement à l'abri de la pollution générée par Charleroi.

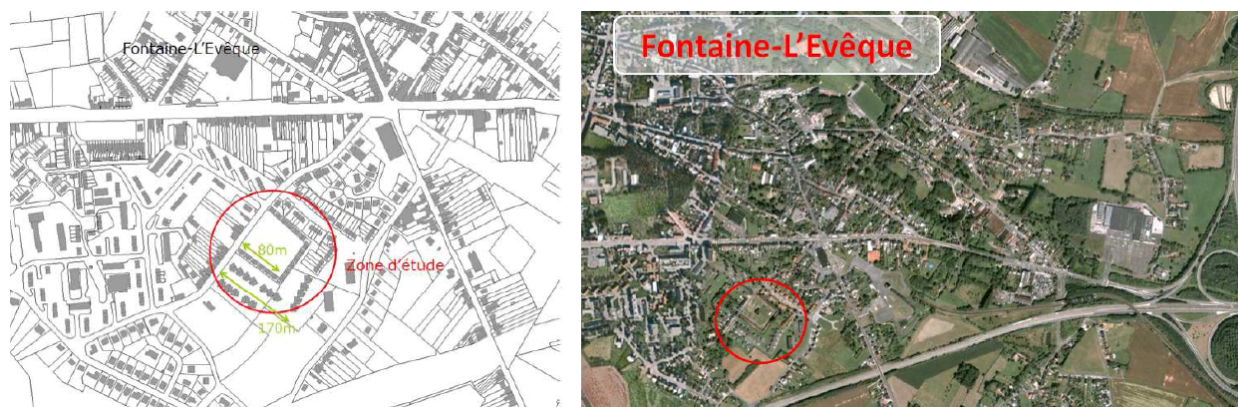


Figure 11 : Zone d'étude et plan de situation.

Le quartier étudié est composé de trois types de bâtiments :

- La cité Chavée, au centre, est un ensemble de logements sociaux (CPAS), inaugurés en 1930, et repris à l'inventaire du patrimoine monumental de la Belgique qui en donne la description suivante : « *ensemble de logements sociaux conçu par l'architecte M. Duquenne et financé par plusieurs philanthropes dont le principal fut Paul Chavée. Implantées en U autour d'un vaste terrain potager bordé d'une voirie, 18 maisonnettes basses en briques comportent chacune deux habitations desservies par une porte entre deux fenêtres, quelques unes conservant encore leur châssis d'origine. Bâtières de tuiles en surplomb. Courette individuelle à l'arrière* » ;
- Au nord-ouest de la cité Chavée sont implantés 22 habitations sociales (foyer fontainois) groupées par bloc de 2 ou de 4 maisons. Elles datent de 1953 ;

- Au sud-est de la cité Chavée, on trouve 24 habitations sociales (foyer fontainois) semi-mitoyennes plus récentes puisqu'elles ont été construites en 1983.



Figure 12 : Les trois types de maisons du quartier de Fontaine-L-Evêque

Le quartier, proche du centre de Fontaine-l'Evêque bénéficie d'une bonne desserte en bus mais aussi de la proximité d'un terminus d'une ligne du métro léger de Charleroi (arrêt à 300-400 m). Les gares les plus proches sont celles de Forchies, à 4,3 km (9 min en voiture) et celle de Marchienne-au-Pont à 5,9 km (7 min en voiture). D'un point de vue routier, le quartier se trouve à proximité de l'E42 (autoroute de Wallonie), à 9,2 km de Charleroi (12 min), à 12 km de Binche (16 min) et à 52 km de Namur (38 min).

7.3. Le quartier de type « nappe »

Le quartier de type « nappe » se compose d'un tissu de constructions isolées homogènes, de type « 4 façades ». Ce quartier se développe de manière isolée à toutes autres structures et ne présente donc pas de liens avec les noyaux existants. Ce type de quartier, exclusivement monofonctionnel, est souvent refermé sur lui-même et présente de nombreux culs-de sac, voie en raquette, etc.

Le quartier de type « nappe » étudié est situé dans la province de Namur, à Jambes. Il se trouve entre la ligne de chemin de fer et la nationale 4 et s'étend sur une zone de 700 m de large. Ce quartier comprend environ 395 maisons individuelles datant de 1967 à 2007.

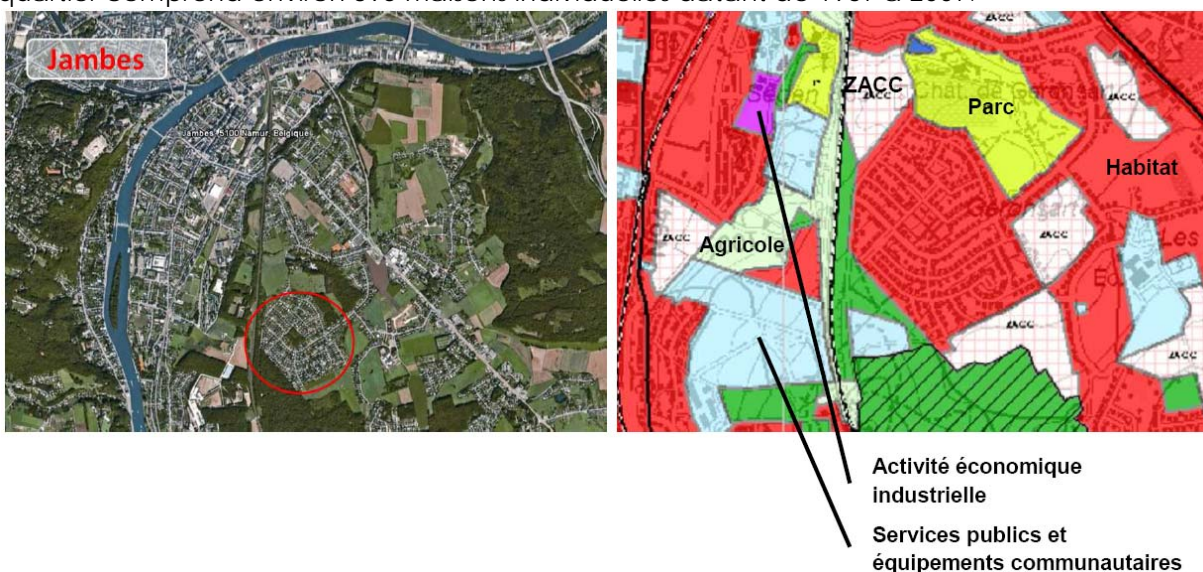


Figure 13 : Plan de situation et extrait du plan de secteur



Figure 14 : Photographies du quartier de type « nappe »

Ce quartier est desservi par une seule ligne de bus. En termes d'accessibilité en voiture, il se situe à proximité immédiate des autoroutes E411 (=> accès nord-sud) et E42 (=> accès est-ouest) et de la nationale 4. Les gares de Jambes et Jambes-Est se trouvent à 2,5 km (soit environ 6 minutes en voiture) et la gare de Namur à 5,5 km (15 minutes).

7.4. Le quartier de type « mixte »

Le quartier de type « mixte » est caractérisé par un noyau villageois composé d'un ensemble de bâtiments, plutôt anciens, principalement mitoyens et de superficies hétérogènes autour duquel se sont développées des constructions plus récentes, plus grandes et souvent isolées. Ce type de quartier présente donc une grande mixité tant en termes de formes (type de bâti, période de construction, etc.) que de fonctions (services, commerces de proximité, etc.).

Le quartier de type « mixte » étudié est situé à Rotheux, en province de Liège. Il s'agit d'un cœur de village et de ses extensions formant une maille triangulaire, de 500 à 600 mètres de côté. Le bâti est hétérogène (forme, époque de construction, etc.) et le quartier est multifonctionnel, avec la présence notamment de quelques commerces de proximité, d'une poste, d'un bâtiment du CPAS, d'une église et d'une école.



Figure 15 : Plans de situation et photographies du quartier de Rotheux

Le quartier est assez faiblement desservi en lignes de bus. La gare TV de Liège-Guillemins est située à 16 km du quartier, celle d'Esneux à 9 km (10 min) et celle d'Engis à 8 km (10 min). En termes d'accessibilité en voiture, le quartier est situé entre les autoroutes E42 et E25 et borde la nationale 63 (dite « route du Condroz ») qui relie Liège à Marche-en-Famenne. Le centre de Liège se trouve à 17 km (environ 22 minutes en voiture).



Figure 16 : Photographies du quartier de Rotheux : noyau villageois en haut et extensions en bas.

7.5. Approche comparative

Pour compléter la présentation des quartiers proposée ci-dessus, ce chapitre reprend quelques données de type socio-économique, plus qualitatives et relatives au transport et déplacements pour donner une image globale des quartiers. Ces données viennent par ailleurs confirmer certaines grandes tendances de la périurbanisation wallonne, mises en évidence dans le chapitre 2.2.

En termes de population et de revenus

La part de la population active et occupée est plus importante que la moyenne régionale pour les quartiers de type « ruban », « nappe » et « mixte ». Le taux de chômage y est inférieur à la moyenne de la Région wallonne. La cité sociale de Fontaine-L'évêque présente logiquement une tendance inverse : le taux de chômage est élevé et la part de la population active et occupée moindre.

Il y a également plus de pensionnés dans le quartier « semi-mitoyen » alors que les trois autres quartiers se situent aux alentours de la moyenne régionale pour ce type de population. En ce qui concerne les étudiants et enfants enfin, ils sont plus nombreux que la moyenne régionale partout, avec une forte différence dans les quartiers « ruban » et « nappe » ce qui tend à confirmer que les quartiers les plus représentatifs de la périurbanisation (peu dense, monofonctionnel, vert) attirent plutôt des familles avec enfants.

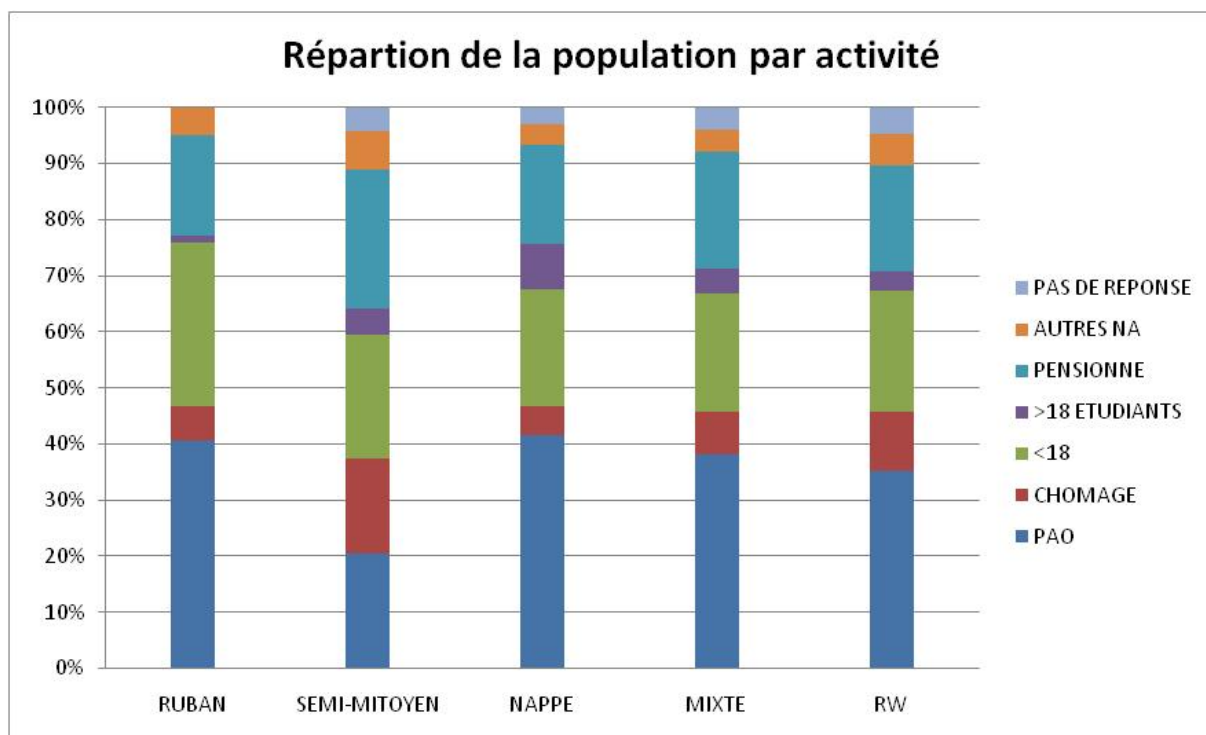


Figure 17 : population par activité © [SPF Economie, PME, classes moyennes, énergie, 2001]

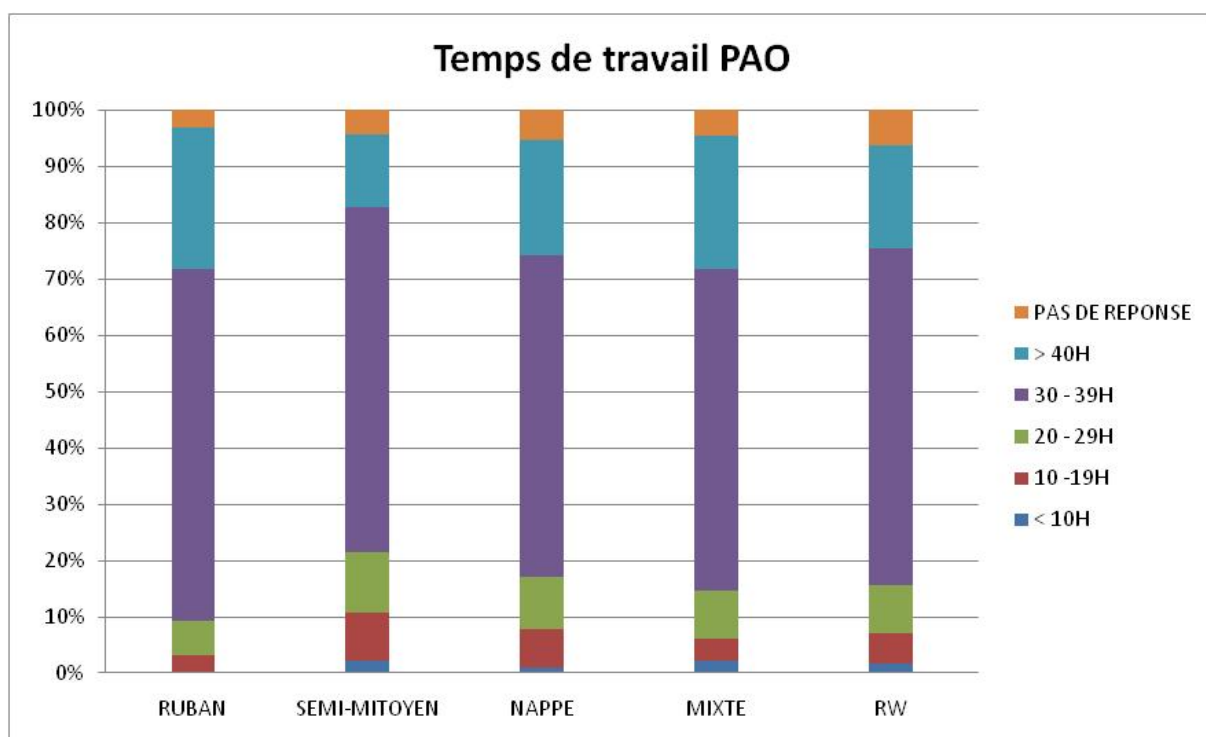


Figure 18 : Temps de travail © [SPF Economie, PME, classes moyennes, énergie, 2001]

En ce qui concerne le temps de travail, la grande majorité des personnes actives et occupées sont occupées à temps plein voir plus. On ne note pas de différence majeure par rapport à la moyenne sur la Région wallonne.

Pour compléter cette approche de type socio-économique, le Tableau 9 reprend le revenu moyen par déclaration, en euro, pour chacun des quartiers, en 2002 et en 2005. Ce revenu, pour 2005, est supérieur à la moyenne régionale pour les quartiers « ruban » et « nappe », inférieur pour le quartier « mixte » et très nettement inférieur pour le quartier « semi-mitoyen ». La tendance entre 2002 et 2005 est à la hausse pour les quartiers « ruban » et « mixte », à la baisse pour les deux autres.

	Ruban	Semi-mitoyen	Nappe	Mixte	RW
2002	33.347 €	20.061 €	36.107 €	24.475 €	[Non trouvé]
2005	33.789 €	17.639 €	34.863 €	25.706 €	33.840 €
Différence	+1,3%	12,1%	-3,4%	+2,9 %	

Tableau 9 : Revenus moyens par déclaration pour 2002 et 2005 © Statistiques fiscales des revenus

En termes plus qualitatifs

La Figure 19 concerne la qualité globale de l'environnement immédiat. On remarque que les habitants des quartiers « ruban », « nappe » et « mixte » jugent leur quartier de façon très positive, surtout dans les deux premiers cités, qui sont les moins mixtes et les plus isolés. Le sentiment de satisfaction dans ces quartiers est nettement supérieur à la moyenne régionale. Dans le quartier « semi-mitoyen », même si une grande partie de la population juge le quartier satisfaisant, on est en dessous de la moyenne en Région wallonne.

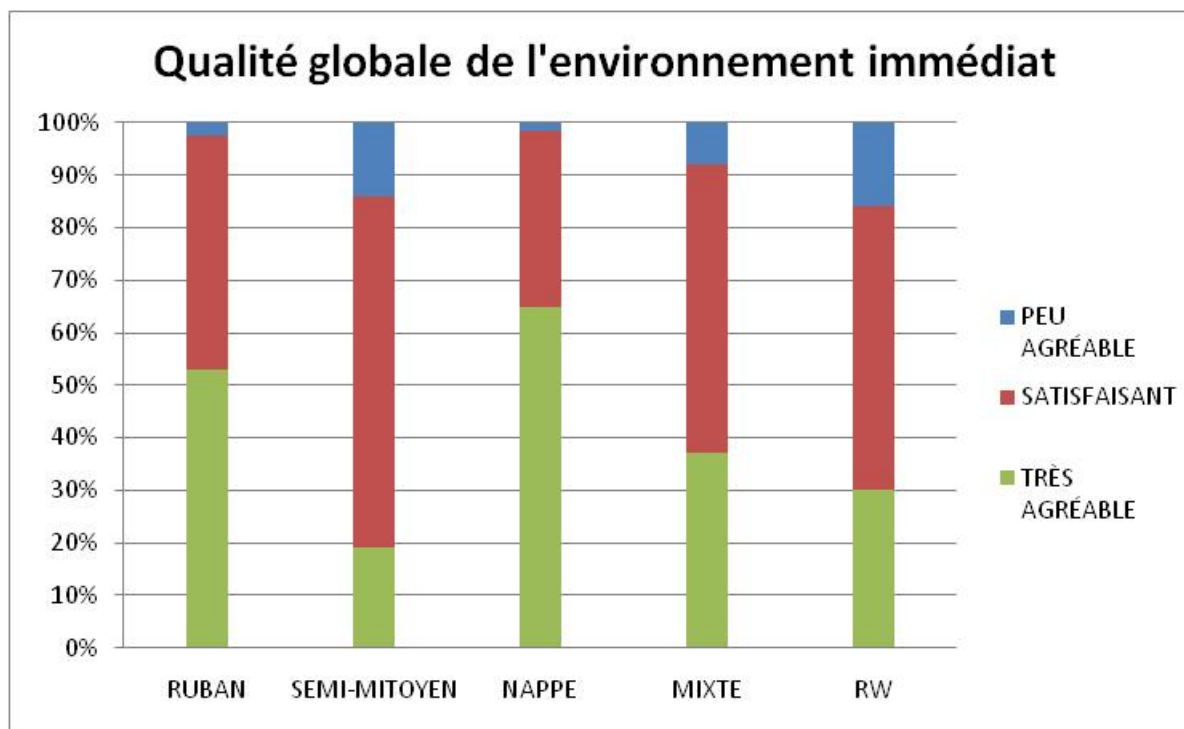


Figure 19 : Qualité globale de l'environnement immédiat © [SPF Economie, PME, classes moyennes, énergie, 2001]

En ce qui concerne les facilités de façon générale, et les facilités commerciales en particulier (Figure 20), la relation s'inverse. Ce sont maintenant les deux quartiers les plus résidentiels et isolés (« ruban » et « nappe ») qui présentent le moins bon taux d'équipements commerciaux. Le quartier « mixte » qui comme son nom l'indique présentent plus de mixité fonctionnelle, mais surtout le quartier « semi-mitoyen » situé à proximité du centre de Fontaine-l'Évêque sont jugés bien équipé par leurs habitants.

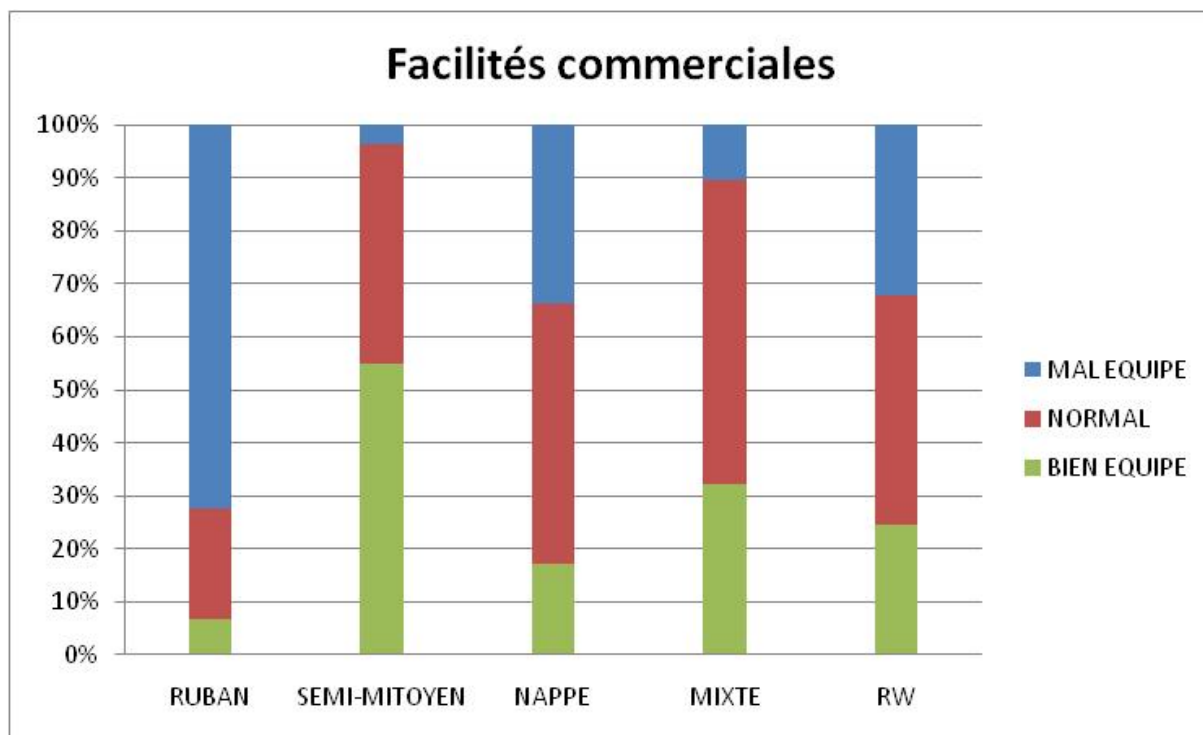


Figure 20 : Facilités commerciales © [SPF Economie, PME, classes moyennes, énergie, 2001]

En termes de déplacements et de mobilité

La carte « Potentiel d'accessibilité » (issue de la monographie « Le logement en Belgique », p159, enquête socio-économique 2001, Géographie KULeuven et UCL et reprise par Kints [2008]) mentionne, pour chaque commune belge un score qui représente la somme des indicateurs relatifs à la présence de gare et d'entrées / sorties d'autoroute mesurés depuis le centre des communes. Selon ce classement³⁰, la commune de Tintigny obtient un score de 0 à 3 (vert, peu accessible), celle de Neupré, un score de 4 à 7 (jaune), la commune de Namur un score de 8 à 11 (orange) et celle de Fontaine-L'évêque, un score de 12 à 20 (rouge, très accessible). Si cet indicateur est mesuré à l'échelle des communes, et ne permet donc pas de différencier zones périurbaines et zones centrales d'une même entité (par exemple, il n'est pas possible de distinguer le quartier « nappe », situé sur le plateau d'Erpent et peu accessible, du centre-ville de Namur puisque les deux quartiers se situent dans la même commune), elle donne une première indication en termes de potentiel d'accessibilité des quartiers, qui sera affinée dans la phase II du travail.

30 Un score bas (représenté en vert) signifie une accessibilité médiocre sur l'échelle adoptée.

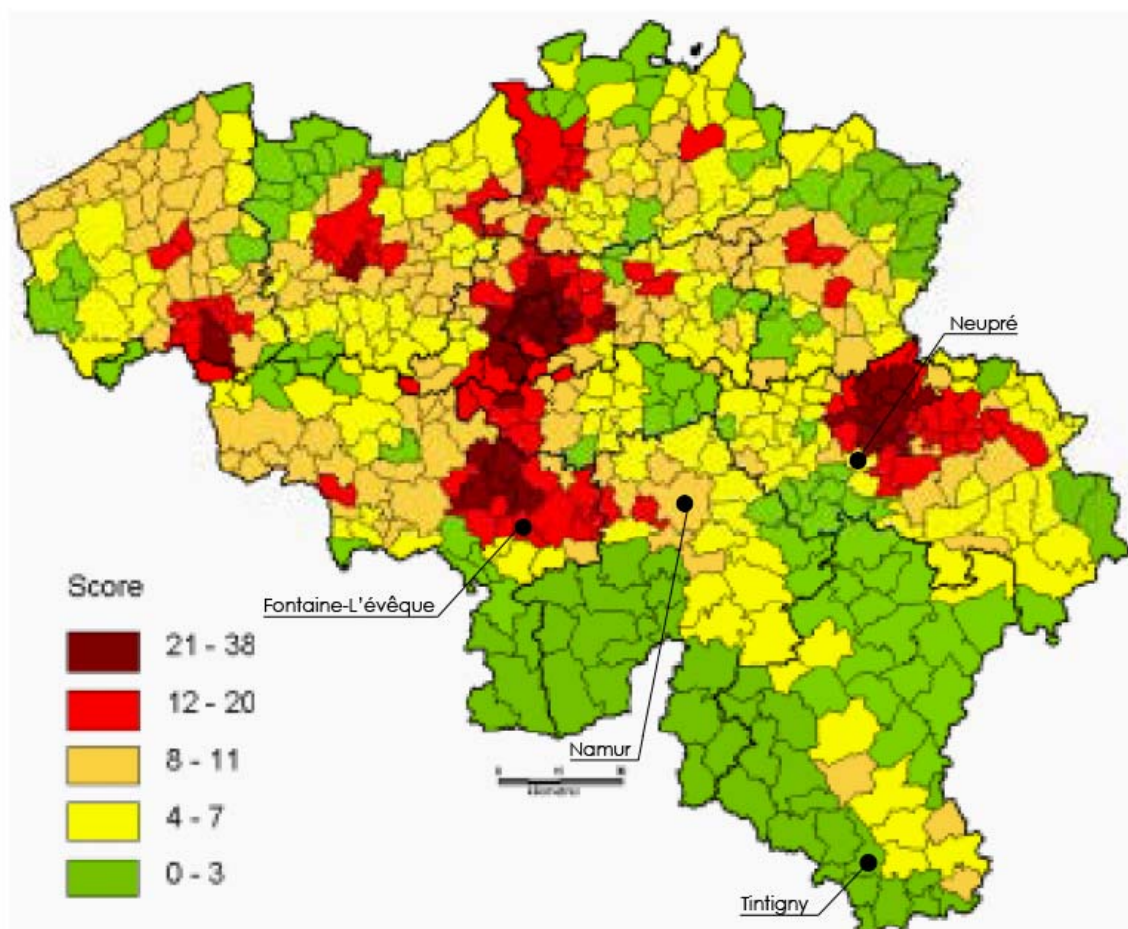
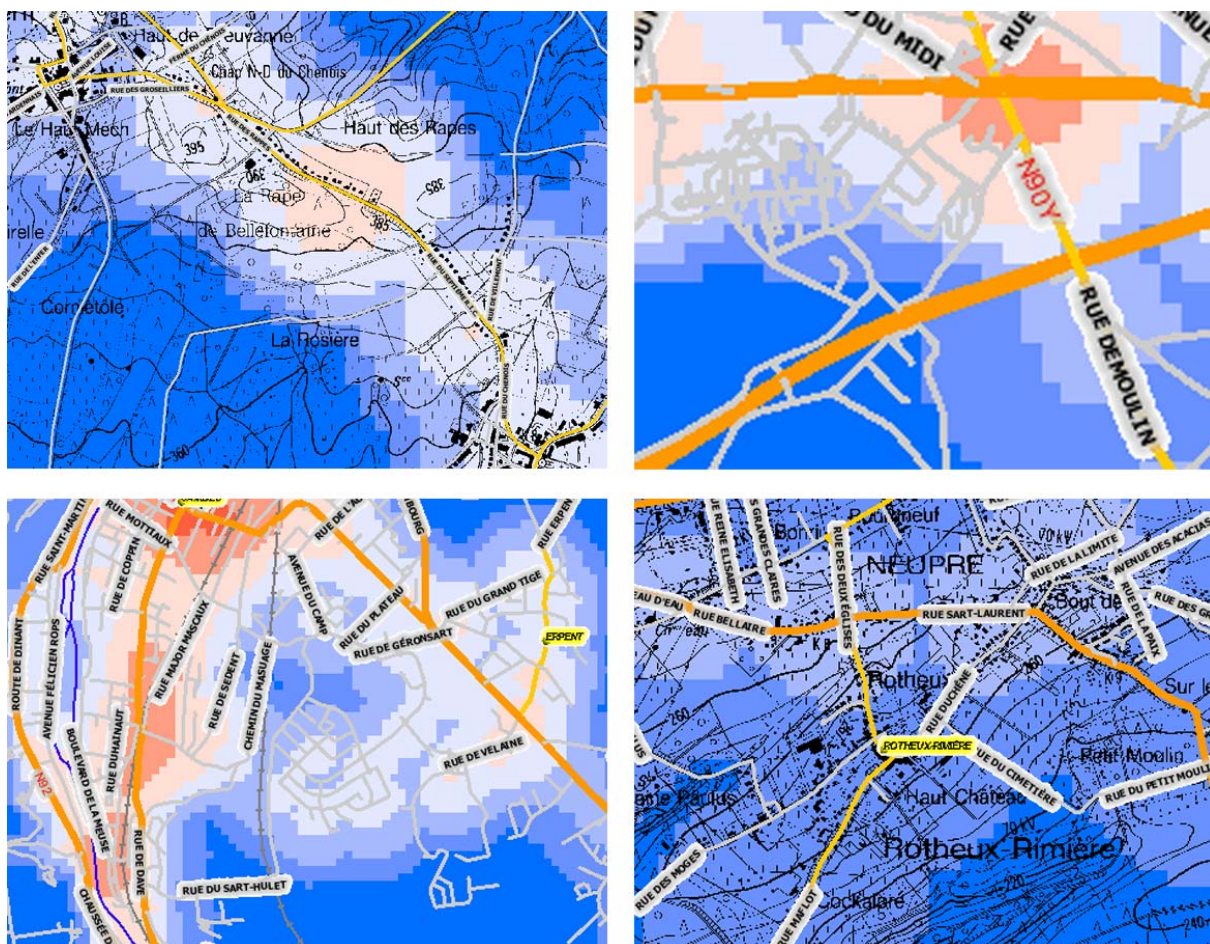


Figure 21 : Potentiel d'accessibilité (score = somme d'indicateurs relatifs à la présence de gares et entrées/sorties d'autoroutes, mesurés depuis le centre des communes) © Monographie « le logement en Belgique » - ESE 2001 – Géographie KULeuven et UCL, citée dans [Kints C., 2008]

Les cartes d'accessibilité de la CPDT [Voir chapitre 4.4.2 pour une description de cette méthode] offrent une approche plus fine de l'accessibilité de nos 4 quartiers puisqu'elles sont basées sur des données statistiques à l'échelle du secteur statistique et que les indicateurs sont calculés pour des zones de 50 pixels de côté.

On voit sur ces cartes d'accessibilité (Figure 22), une évaluation du potentiel d'accessibilité, en bus, au lieu de résidence³¹ pour chaque quartier. L'échelle graphique utilisée s'étend du bleu foncé (accessibilité médiocre, en bus, au lieu de résidence) au rouge (bonne accessibilité en bus, au lieu de résidence). On remarque ainsi rapidement que le quartier de Jambes mais surtout celui de Rotheux sont très peu accessibles en bus. Le quartier de Fontaine, au contraire est plus accessible et situé à proximité immédiate d'une zone très bien desservie en bus.

³¹ Les cartes d'accessibilité disponibles concernent l'accessibilité en bus, en train ou en modes doux, au lieu de résidence et au lieu de travail. Ces cartes sont consultables sur le portail cartographique de la Région wallonne.



Si on étudie maintenant le nombre de voitures par ménages, sur base des données du recensement statistique de 2001 (Figure 23), on observe, comme déjà mis en évidence dans les grandes tendances de la périurbanisation que les territoires périurbains sont dépendants de l'automobile puisque le nombre de ménages ne possédant pas de voiture est nettement inférieur en Région wallonne que dans les quartiers « ruban », « nappe » et « mixte ». Les ménages de ces quartiers possèdent en majorité une ou deux voitures, voire parfois 3. Dans le quartier social « semi-mitoyen », par contre, le nombre de ménages sans voiture dépasse la moyenne régionale.

Ce constat est à mettre en parallèle avec les faibles revenus moyens par ménage enregistrés dans le quartier (Tableau 9) et la bonne desserte tant en facilités commerciales (Figure 20) qu'en transport en commun (proximité de Charleroi, par le métro léger notamment).

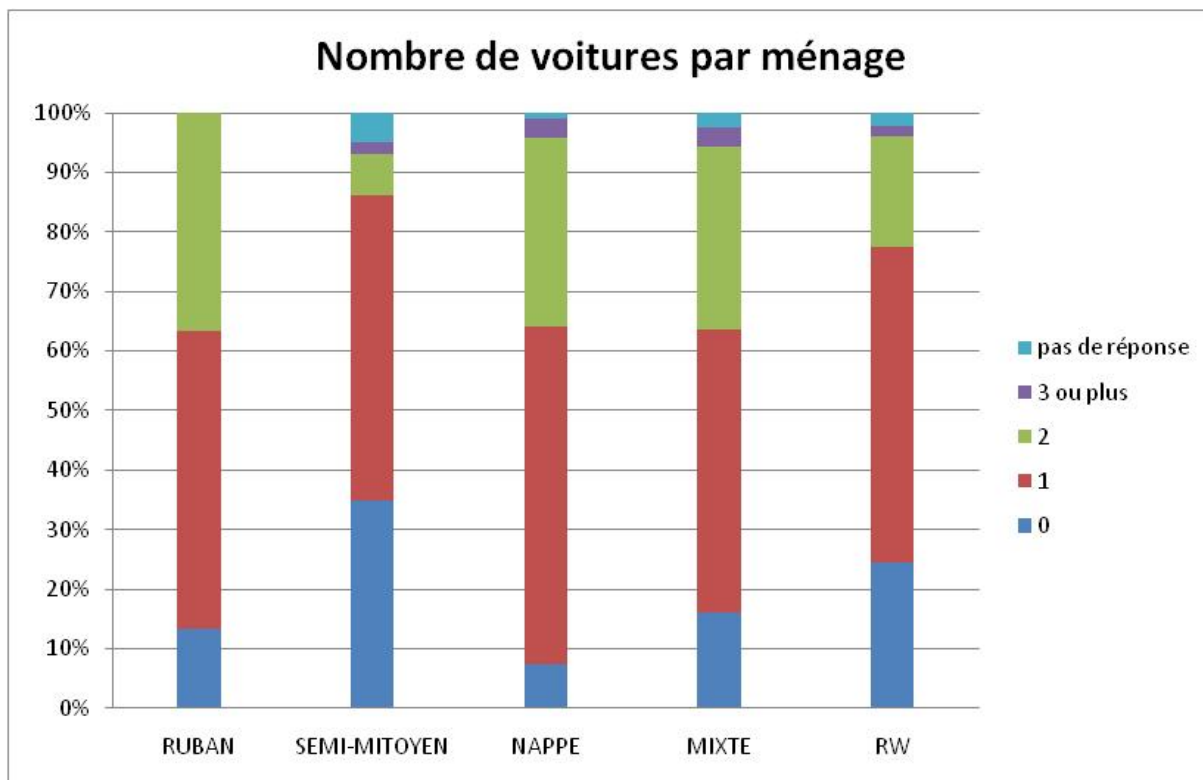


Figure 23 : Nombre de voitures par ménage © [SPF Economie, PME, classes moyennes, énergie, 2001]

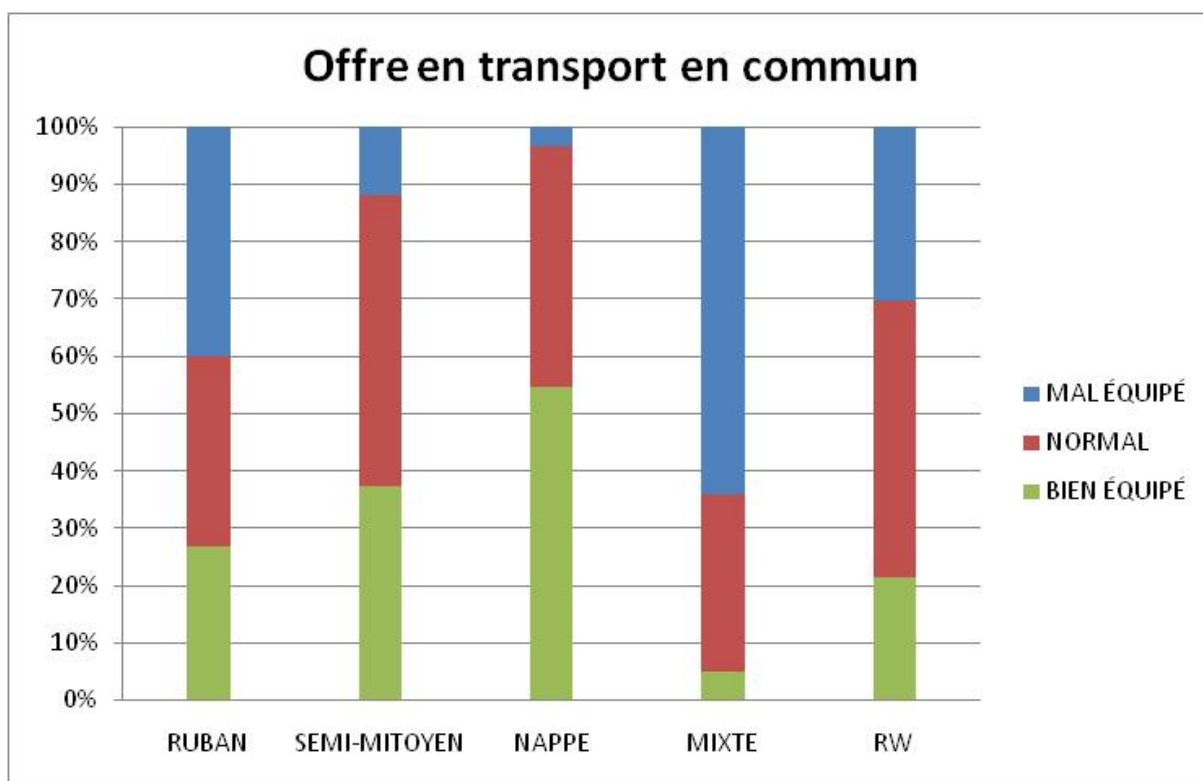


Figure 24 : Offre en transport en commun © [SPF Economie, PME, classes moyennes, énergie, 2001]

Les quartiers « nappe » et « semi-mitoyen » sont jugés bien équipés en transport en commun par leurs habitants. Il est vrai que ces deux quartiers bénéficient respectivement de la proximité de Namur et de Charleroi. Le quartier « mixte » plus éloigné des centres urbains est jugé mal équipé en transport en commun par une grande majorité de sa population. Le cas du quartier « ruban » est plus complexe puisqu'il présente des taux de satisfaction (« bien équipé ») et d'insatisfaction (« mal équipé ») tous deux supérieurs aux taux moyens régionaux. Quand on sait que l'offre en transport en commun y est dans les faits assez faible, on peut peut-être supposer que la population qui n'emprunte pas les transports en commun ait rendu un avis positif à ce sujet. L'analyse de l'offre en transport en commun, basée cette fois sur les données réelles (lignes, fréquence, etc.) et plus sur des enquêtes de satisfaction sera plus approfondie dans la phase II lorsqu'il s'agira de développer une méthode adaptée au transport des personnes.

7.6. La récolte des données nécessaires aux modélisations

La dernière tâche de cette première phase de travail consiste en la récolte des données nécessaires à la modélisation, en l'état actuel, des quartiers-types choisis qui fait l'objet de la phase II. Les données récoltées pour chaque quartier sont de 5 types :

- Les données de type « fond de plan »
 - Le Plan de Localisation Informatique (PLI) de la Région wallonne est constitué des communes, des divisions, des sections, des parcelles et du bâti issus des planches cadastrales, vectorisés et calés sur les cartes topographiques au 1/10.000 de l'IGN.
- Les données constructives
 - Les permis de bâtir relatifs à quelques maisons types ont été obtenus au service urbanisme des communes concernées ;
 - Les années de délivrance des permis de bâtir, pour chaque bâtiment ont été obtenues à l'Administration des Finances.
- Les données de type « statistiques »
 - Les données sur le stock bâti proviennent de l'enquête sur la qualité du logement en Région wallonne [MRW, 2008] ;
 - Les données de l'enquête socio-économique du 1^{er} octobre 2001 du Service Public Fédéral « Economie, PME, classes moyennes et Energie. Statistique et information économique » sont disponibles à l'échelle du secteur statistique, qui est la plus petite unité territoriale pour laquelle des informations statistiques existent ;
 - Les données relatives à la population et aux ménages, au 1^{er} janvier 2007, du Service Public Fédéral « Economie, PME, classes moyennes et Energie. Statistique et information économique » sont aussi disponibles à l'échelle du secteur statistique ;
 - Les données du recensement de 1991 relatives aux déplacements domicile-lieu de travail et déplacements scolaires (distance parcourue, mode de transport principal) sont disponibles à l'échelle du secteur statistique. Un nouveau recensement a été mené en 2001 mais les résultats ne sont toujours pas disponibles à l'heure actuelle ;
 - Les données de l'inventaire des parcs d'éclairage communaux, lancé en 2007 par le DGTRE, donnent par commune la répartition des lampes par type et la puissance moyenne correspondante extrapolée pour les luminaires.

- Les enquêtes postales
 - 60 courriers individuels (15 adresses par quartier, tirées au hasard) ont été envoyés en novembre 2009. Vu le faible taux de réponses (8 réponses, soit environ 13% de réponses, dont 62,5% émanant de retraités), ces résultats ne seront pas exploitables directement. Un nouvel envoi, à destination cette fois de tous les habitants non touchés par la première enquête sera organisé ultérieurement. A titre de comparaison, on peut mentionner que, dans un objectif similaire à celui qui nous occupe, Holden et Norland [2005] ont réalisé une enquête sur 8 quartiers du grand Oslo. Ils ont envoyés 2.500 questionnaires postaux. Le taux de réponse a atteint 40%.
- Les relevés in situ
 - Les données précédentes ont enfin été complétées de visites de terrain qui ont permis d'en valider et compléter certaines. Ces visites ont aussi permis la réalisation d'un relevé photographique complet de chacun des quartiers.

Ces données seront utilisées dans la phase suivante qui consiste à mener une évaluation globale des consommations énergétiques des quartiers, selon les modalités et hypothèses qui seront explicitées dans la suite de ce travail. Remarquons, pour conclure, que la récolte des données s'est déroulée sur plusieurs semaines. Les contacts avec les communes et administrations, en particulier, se sont avérés très lents. Par ailleurs, plusieurs propriétaires ont refusé l'accès à leur permis d'urbanisme, en vertu de la protection de la vie privée.

8. Bibliographie [Phase I]

Acosta R. [1994]. *Politiques foncières comparées : Belgique*. ADEF, Paris.

ADEME [2007]. *Bilan carbone. Entreprises et collectivités. Guide méthodologique, version 5, objectifs et principes de comptabilisation*.

Boarnet M., Crane R. [2001] *Travel by design. The influence of urban form on travel*. Oxford university Press, New-York.

Bochet B. [2007]. *Débat ville étalée – ville compacte : la réponse des projets lausannois* ». Revue économique et sociale, n°4, décembre 2007.

Bouvier T. [2009] *Construire des villes européennes durables*. Asbl Pour la solidarité, Bruxelles, 490p.

Breheny M. [1995]. *The compact city and transport energy consumption*. Transactions of the Institute of British geographers, Vol 20, n° 1, pp 81-101.

Brück L., Mairy N., Halleux J-M., Merenne-Schoumaker B., Sevenberg S., Van Hecke E. [2001]. *Les comportements résidentiels des ménages face à la problématique de développement durable*. SSTC, Leviers d'une politique de développement durable.

Cailly L. [2008]. *Existe-t-il un mode d'habiter spécifiquement périurbain ?* EspacesTemps.net, Textuel, <http://espacestemps.net/document5093.html>

Cellule Etat de l'Environnement Wallon [2007]. *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. MRW-DGRNE, Namur, 736p.

Cellule Etat de l'Environnement Wallon [2008]. *Tableau de bord de l'environnement wallon 2008*. SPW-DGARNE (DGO3) – DEMNA - DEE, Namur, 199p.

Charmes E. [2007]. *Le malthusianisme foncier*. Etudes Foncières, n° 125, pp 12-16.

Cherqui F. [2005]. *Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier. Méthode ADEQUA*. Thèse de doctorat pour l'obtention du grade de docteur de l'université de La Rochelle, discipline génie civil.

CPDT [2002]. *Les coûts de la désurbanisation*. Conférence Permanente du Développement Territorial, Région wallonne. Etudes et documents, CPDT n°1, Namur, 135p.

CPDT [2003]. *Observation des mutations spatiales, L'habitat, CPDT, Thème 1.1*. Conférence Permanente du Développement Territorial, Région wallonne. Rapport final de la subvention

2002-2003.

CPDT [2005]. *Protocole de Kyoto : aménagement du territoire, mobilité et urbanisme*. Conférence Permanente du Développement Territorial, Région wallonne. Etudes et documents, CPDT n°6, Namur, 203p.

Deymier G., Nicolas J.-P. [2005]. *Modèles d'interaction entre transport et urbanisme : état de l'art et choix d'un modèle pour le projet SIMBAD. Rapport du laboratoire d'économie des transports pour le compte de la DRAST et de l'ADEME dans le cadre du groupe 11 du PREDIT, Juillet 2005.*

Doucet P. [1985]. *La politique foncière, une nécessité oubliée ?* Les Cahiers de l'Urbanisme, n°6, p65-78.

Ewing R., Cervero R. [2001]. *Travel and the built environment : A synthesis*. Transport Research Record, n°1780, p87-114.

Ewing R., Rong F. [2008]. *The impact of Urban Form on U.S. Residential Energy House*. Housing Policy Debate, vol. 19, Issue 1.

EPSR [2006]. *Sustainability Of Land Use and Transport in Outer Neighbourhood. Cambridge Local Case Studies*. Interm. Report.

EPSR [2009]. *Sustainability Of Land Use and Transport in Outer Neighbourhoods, Final Report : strategic scale, 176p.*

Fouchier V. [1997]. *Les densités urbaines et le développement durable : le cas de l'Île-de-France et des villes nouvelles*. Ed. du SGVN, Paris, 1997.

Galster G., Hanson R., Ratcliffe M.R., Wolman H., Coleman S., Freihage J. [2001]. *Wrestling Sprawl to the Ground : Defining and measuring an elusive concept*. Housing Policy Debate, Vol. 12, Issue 4.

Gordon P., Richardson H.W. [1997]. *Are compact cities a desirable planning goal ?* Journal of the American Planning Association, n°63(1), pp95-106.

Halleux J.-M. [2008]. *Marchés fonciers et immobilier*. Cours de géographie économique, université de Liège, 3^{ème} édition.

Halleux J.-M., Lambotte J.-M., Kessler L., Pirotte B. [2004]. *Les blocages du recyclage morphologique des tissus urbains*, Reconstruire la ville sur la ville. Le recyclage des espaces dégradés, thème 3.1., Rapport final de la subvention 2003-2004, CPDT : 1-94 + 28 p. annexes.

Halleux J.-M., Lambotte J.-M. [2008]. *Reconstruire la ville sur la ville. Le recyclage morphologique et le renouvellement des espaces dégradés*. Territoire(s) Wallon(s), n°2 : 7-22.

Hanin Y., Berthet T. [2003]. *Concevoir, réaliser et gérer les projets de lotissement. Une formation destinée aux professionnels*. Les cahiers de l'urbanisme, n°47, p20-31.

Hanocq Ph. [2008]. *Projetation territoriale et urbaine*, Notes de cours du Master Complémentaire en Urbanisme et Aménagement du Territoire, Université de Liège, 2008, pp. 1-107.

Hanson C. [1996] *The cohousing handbook – Building a Place for a Community*. Hartley & Marks Publishers, USA, 255p.

Holden E., Norland T. I. [2005]. *Three challenges for the compact city as a sustainable urban form : Household consumption of energy and transport in eight residential areas in the greater Oslo region*. Urban Studies, Vol. 42, N° 12, 2145-2166, Novembre 2005.

Hubert J.-P., Toint P. [2002]. *La mobilité quotidienne des belges*. Presses universitaires de Namur.

IAURIF [1995]. *Référentiel de densités et de formes urbaines. Contribution pour un référentiel appliqué à l'habitat dans la région Ile-de-France, Paris, 97p.*

IBI group [2000]. *Emissions de gaz à effet de serre attribuables aux déplacements urbains : outil d'évaluation de la durabilité des quartiers*. Rapport de recherches pour la société canadienne d'hypothèques et de logement et Ressources naturelles Canada, série sur la maison et les collectivités saines.

Jones P.J., Lannon S., Williams J. [2001]. *Modelling building energy use at urban scale*. Seventh international IBSPA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, 2001.

Kints C. [2008]. *La rénovation énergétique et durable des logements wallons. Analyse du bâti existant et mise en évidence des typologies de logements prioritaires*. Etude réalisée pour MRW-DGTRE dans le cadre de l'IEA-SHC-Task 37 et effectuée en collaboration avec le projet LEHR pour le compte de la politique scientifique fédérale.

Lambert L. [2006]. *Quartier durable. Pistes pour l'action locale*, Etopia, Etude n°1.

Mackett R.L. [2001]. *Policies to attract drivers out of their cars for short trips*. Transport Policy, n°8, 2001, pp.205-306.

Maizia M., Sèze C., Berge S., Teller J., Reiter S., Ménard R. [2009] *Energy requirements of characteristic urban blocks*. CISBAT 2009, actes du colloque, p439-444.

Mangin D. [2004]. *La ville franchisée. Formes et structures de la ville contemporaine*, Paris, Eds de la Vilette, 2004.

Merlin P., Choay F. [2000]. *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement. Troisième édition revue et augmentée*. Presses universitaires de France, 902p.

MRW [2004]. *Guide d'urbanisme pour la Wallonie*. Ministère de la Région wallonne, DGATLP,

Namur, 227p.

MRW [2007]. *Enquête sur la qualité de l'habitat en Région wallonne. 2006-2007*. Ministère de la Région wallonne, Namur.

Newman P., Kenworthy J. [1999]. *Sustainability and cities: over-coming automobile dependence*. Island Press.

Peuportier B., Polster B. [non daté]. *Logiciel EQUER. Simulation du cycle de vie des bâtiments*. Manuel d'utilisation du logiciel EQUER.

Piron O. [2007]. *Les déterminants économiques de l'étalement urbain*. Etudes Foncières, n° 129, pp 24-26.

Popovici E., Peuportier B. [2004] *Using life cycle assessment as decision support in the design of settlements*. PLEA – The 21th Conference on Passive and Low Architecture. Eindhoven. The Netherlands, 6p.

Popovici E. [2006]. *Contribution à l'analyse en cycle de vie des quartiers*. Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 209p.

PUCA [non daté] *Les gisements du développement urbain : analyse quantitative à l'horizon 2050 des consommations énergétiques et des émissions de CO2 des tissus urbains. Rapport 1 : Méthodologie, hypothèses et premiers résultats*. Aménagement Urbain Transports Résidences Energie, Plan Urbanisme Construction Architecture. Technologie et construction. Energie dans le bâtiment : PREBAT.

Ratti C., Baker, N., Steemers, K. [2005]. *Energy consumption and urban texture*. Energy and Buildings, n°37, p762-776.

Rey E. [2008]. *Quels processus pour la création d'un quartier durable : l'exemple du projet Ecoparc à Neuchâtel*. Actes du colloque « \$\$\$ » de l'ADEF, Paris.

Rogers R. [2000] *Des villes durables pour une petite planète*. Le Moniteur, Paris, 213p.

de Smet F. [2008]. *Intégration des noyaux ruraux dans l'espace périurbain : modèles, gestion et processus*. LEPUR-ULg, Chaire doctorale, préparation au comité de thèse, document de travail non publié.

Steadman P., Holtier S., Brown S., Turner F., De La Barra T., Rickaby PA. [1998]. *An integrated building stock, transport and energy model of medium size*. Report to the EPSRC.

Steemers K. [2003]. *Energy and the city: density, buildings and transport*. Energy and buildings, n°35, p3-14.

Tweed C., Jones P. [2000]. *The role of models in arguments about urban sustainability*.

Environmental impact assessment Review 20, p 277-287.

Verbeeck G., Hens H. [2007]. *Life Cycle Optimization of Extremely Low Energy Dwellings*. Journal of Building Physics, Vol.31, n°2, pp143-177.

Sites web :

<http://cpdt.wallonie.be/>

<http://sder.wallonie.be/>

<http://energie.wallonie.be/>

<http://cartographie.wallonie.be/>

http://europa.eu/legislation_summaries/regional_policy/management/g24401_fr.htm, consulté en février 2010/

Table des matières [Phase I]

1. INTRODUCTION	1
2. LA PERIURBANISATION	5
2.1. QUELQUES DEFINITIONS	5
2.2. LES GRANDES TENDANCES EN REGION WALLONNE	6
3. LES MODELES DE FORME URBAINE	15
3.1. LA VILLE COMPACTE	15
3.2. LA VILLE DISPERSEE	15
3.3. LES MODELES ALTERNATIFS	16
3.4. SYNTHESE.....	17
4. LES METHODES D’EVALUATION ENVIRONNEMENTALE	18
4.1. L’ECHELLE DU QUARTIER.....	18
4.2. PROBLEMATIQUE	19
4.3. L’ENERGIE DES BATIMENTS.....	20
4.3.1. LES METHODES DE TYPE « CHECK LIST »	21
4.3.2. LES METHODES BASEES SUR DES SIMULATIONS THERMIQUES ET MODELES MATHEMATQUES	22
4.3.3. LES METHODES D’ANALYSE EN CYCLE DE VIE (ACV).....	23
4.4. LE TRANSPORT	25
4.4.1. LES METHODES BASEES SUR DES ENQUETES STATISTIQUES	25
4.4.2. LES METHODES SIMPLIFIEES	27
5. LES REGLEMENTATIONS ENVIRONNEMENTALES EN WALLONIE	30
5.1. LES REGLEMENTATIONS EN MATIERE D’UTILISATION DU SOL	30
5.2. LES REGLEMENTATIONS EN MATIERE DE PERFORMANCE ENERGETIQUE	32
5.3. LES REGLEMENTATIONS EN MATIERE DE DEPLACEMENTS	34
5.4. QUELQUES CHIFFRES-CLES.....	34
6. LES TYPOLOGIES DES QUARTIERS PERIURBAINS	39
6.1. QUELQUES TYPOLOGIES EXISTANTES	39
6.2. LES CRITERES A CONSIDERER	45

7.	<u>LA SELECTION DES CAS D'ETUDE</u>	<u>46</u>
7.1.	LE QUARTIER DE TYPE « RUBAN »	46
7.2.	LE QUARTIER DE TYPE « SEMI-MITOYEN »	47
7.3.	LE QUARTIER DE TYPE « NAPPE »	48
7.4.	LE QUARTIER DE TYPE « MIXTE »	49
7.5.	APPROCHE COMPARATIVE	50
7.6.	LA RECOLTE DES DONNEES NECESSAIRES AUX MODELISATIONS	57
8.	<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	<u>59</u>
	 <u>TABLE DES MATIERES</u>	 <u>64</u>

PHASE II : Modélisations des quartiers sélectionnés sur base de la configuration, des techniques et des usages actuels

Auteurs : Anne-Françoise Marique [LEMA – Ulg]
 Tatiana de Meester [Architecture & Climat – UCL]

Encadrement : Sigrid Reiter [LEMA-ULg]
 André de Herde [Architecture & Climat – UCL]

Période de travail : Août 2009 – Janvier 2009

1. Introduction

L'objet de la deuxième phase de la recherche SAFE, intitulée « *Modélisations énergétiques des quartiers-types, sur base de la configuration, des techniques et des usages actuels* » est de réaliser une évaluation globale des consommations énergétiques des 4 quartiers sélectionnés dans la phase I, en l'état actuel. Cette évaluation aborde 4 domaines : le microclimat (écoulement des vents autour des bâtiments et ensoleillement reçu par les façades), les consommations énergétiques relatives aux bâtiments (en ce y compris une approche en cycle de vie), au transport des personnes et aux réseaux.

Ce rapport est articulé autour de 4 chapitres qui abordent successivement la méthodologie et les hypothèses de travail adoptées pour chacune des parties qui constituent l'évaluation énergétique globale [chapitre 2] puis les modélisations microclimatiques [chapitre 3] et les modélisations énergétiques [chapitre 4] réalisées pour chacun des quartiers-types. Il se conclut par une approche comparative et une analyse des résultats des simulations [chapitre 5].



Figure 1 : Représentation schématique des 4 quartiers sélectionnés en phase I

2. La méthodologie et les hypothèses de travail

Comme l'état de l'art proposé dans la phase I de ce travail l'a mis en évidence, l'utilisation de modèles mathématiques pour quantifier certains aspects de l'environnement urbain est souvent présentée comme l'approche la plus crédible pour évaluer les propositions pour de nouveaux développements ou simplement les améliorations à apporter aux bâti et quartiers existants dans un objectif global de durabilité. Les outils existants, qui concernent essentiellement les consommations énergétiques des bâtiments, ne peuvent toutefois s'appliquer tels quels à l'étude qui nous occupe (manque de prise en compte de spécificités locales, échelle d'analyse trop large, etc.). Le présent chapitre explique la méthodologie adoptée pour la modélisation énergétique globale des 4 quartiers soumis à la recherche SAFE et élaborée de façon à répondre à un triple objectif :

- Prendre en compte les spécificités locales (l'objet de l'étude est bien limité : il s'agit du quartier) pour toucher au plus près les réalités de la périurbanisation wallonne ;
- Aborder la problématique des consommations énergétiques de façon globale en couplant microclimat, consommation d'énergie des bâtiments, du transport des personnes et des réseaux, de façon à dépasser l'approche qui consiste à considérer le bâtiment comme un élément étudié en dehors de son contexte ;
- Permettre l'application ultérieure de la méthode à d'autres quartiers.

La méthodologie proposée peut schématiquement être représentée comme suit (Figure 2). La suite du chapitre détaille, pour chacune des étapes, les méthodes et hypothèses adoptées.

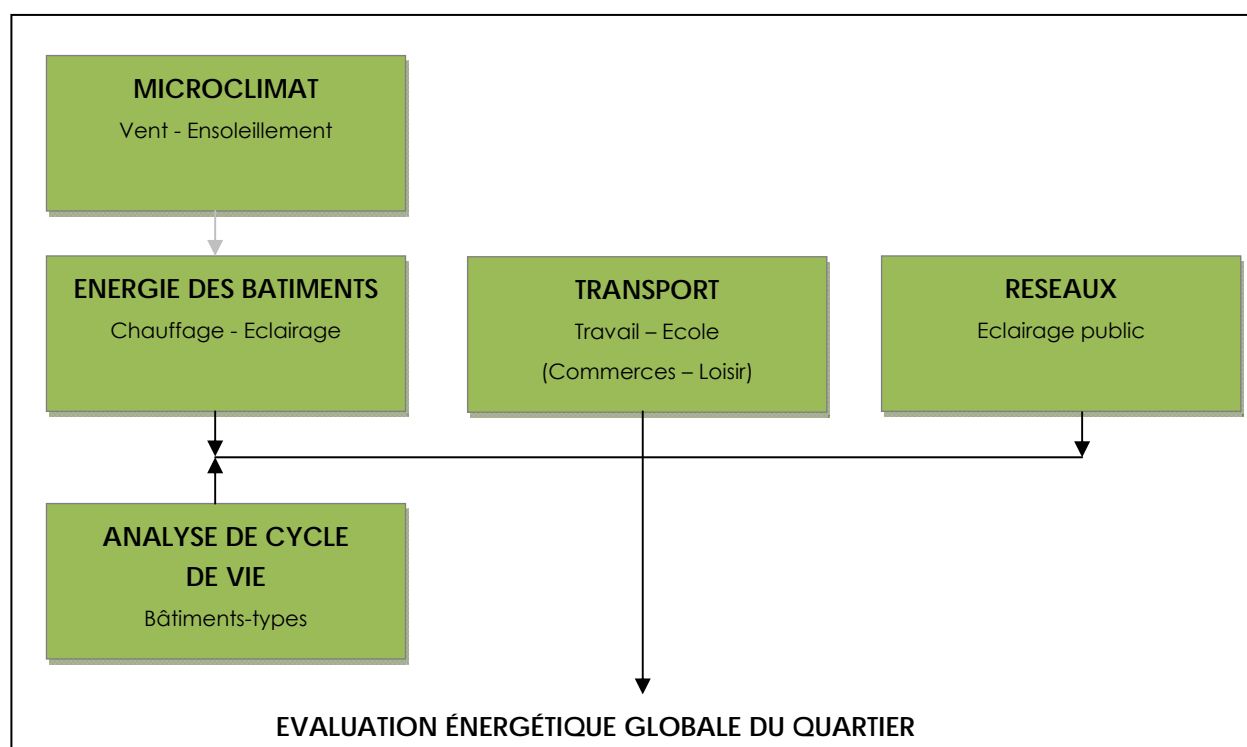


Figure 2 : Représentation schématique de la méthode proposée et de ses différents composants

2.1. Le microclimat : l'écoulement du vent

2.1.1. Méthode et outils

La première partie de l'étude microclimatique concerne l'analyse des impacts du vent sur les bâtiments qui joue un rôle sur la consommation énergétique des bâtiments mais aussi sur la conception bioclimatique du bâtiment. Cette étude se déroulera en plusieurs étapes :

Analyse de l'impact du vent sur le quartier [Logiciel CFD]

Cette étape consiste en la modélisation du quartier en 3D et en l'analyse des écoulements du vent dans un milieu suburbain grâce à un logiciel CFD, décrit ci-dessous. Ces écoulements des vents connus en tous points du maillage permettront d'analyser le confort des piétons dans les différents types de quartiers périurbains, la conception bioclimatique des maisons, etc. De plus, le logiciel CFD nous permet de connaître toutes sortes d'informations sur le quartier dont les pressions exercées par le vent sur les parois. Ces pressions sur les parois serviront lors de la deuxième étape où, par quartier, les consommations énergétiques de quelques maisons seront analysées. Pour analyser l'impact du vent, nous avons procédé en deux étapes :

- La première est une analyse générale du quartier ;
- La deuxième consiste en une analyse détaillée concentrée sur des cas de maisons étudiées. Cette deuxième partie dépendra des valeurs des vitesses des vents obtenues lors de la première partie d'analyse générale.

Les logiciels utilisés pour réaliser cette étude microclimatique sur l'écoulement des vents autour des bâtiments sont :

- AUTOCAD : Les plans informatiques des quartiers obtenus dans les communes (en .dxf) sont importés en Autocad. Ce logiciel de dessin permet de modéliser le quartier en 3D :
 - Les bâtiments sont simplifiés et mis en 3D ;
- Création d'un tunnel à vent représentant la soufflerie ou le domaine où se situent les différentes entrées de vents et qui délimite la zone étudiée.

Le fichier sera exporté (en .sat) vers un mailleur.

- CFD (Computational Fluid Dynamics) : **Gambit** est la partie du logiciel CFD permettant de mailler le cas étudié. Tous les domaines sont maillés plus ou moins précisément selon l'objectif de la simulation. De manière générale, lors de la phase II, l'étude consacrera par quartier, deux maillages :
 - Un dit « grossier » : maillage de l'intégralité du quartier où la taille des mailles sur le bâtiment est peu précise (tous les 4 m) ;
 - Un dit « fin » : maillage d'un zoom plus détaillé du quartier, maillage assez précis (tous les 50 cm sur les parois des bâtiments).

Le maillage de l'ensemble du quartier est assez peu homogène car il comporte des zones plus concentrées, plus denses comme autour des bâtiments étudiés, et des zones bien moins concentrées comme les bords du tunnel ou autres zones plus éloignées comme le haut du tunnel. Plus concrètement, le maillage d'un bâtiment peut être tous les 0.5 m et les bords du tunnel peuvent très bien être maillés tous les 10 m. Le maillage doit également être précis au niveau des piétons et dans des zones plus sensibles.

Chaque paroi se verra attribuer pour conditions limites un type spécifique :

- les bords latéraux du tunnel ou du domaine sont imposés comme des symétries. Précisons que lorsqu'il est possible d'utiliser une condition de symétrie, il faut en profiter pour diminuer le domaine simulé de moitié ce qui a été utilisé pour l'étude des zooms dans les quartiers ;
- la surface de sortie de l'air correspond à la limite « outflow ». Cette condition correspond à un flux totalement développé et de ce fait, la distance entre le bâtiment et la sortie doit être assez importante ;
- la surface du domaine constituant l'entrée, le profil de vitesse du vent varie avec la hauteur. Par ce fait, plusieurs « sous-surfaces » superposées, correspondant chacune à une vitesse du vent, composent la surface totale d'entrée ;
- Les faces constituant les bâtiments et les sols sont considérées comme étant lisses (hauteur de rugosité nulle). Le modèle utilisé est le « wall function » pour lequel la couche visqueuse n'est pas résolue mais simulée ;
- chaque volume est associé à un état de matière (solide/ fluide).

Le fichier sera exporté sous forme de « .msh ».

- CFD (Computational Fluid Dynamics) : **Fluent** est l'autre partie du logiciel (CFD) qui prend en charge la simulation. Le modèle et les paramètres sont choisis et rentrés selon l'étude de Reiter [2007]. En effet, cette étude a développé une validation du logiciel Fluent pour des études de confort de vent autour des bâtiments pour des configurations relativement simples. C'est un modèle RSM (Reynolds Stress Model) défini lors de cette étude qui a été suivi lors des simulations. Ce modèle utilisé dans les études de confort des piétons pour les zones critiques du vent permet une bonne approche pour l'évaluation des distributions moyennes du vent dans les contextes étudiés (quartier composé de bâtiments isolés, quartier plus dense, etc.). Ce modèle permet d'identifier les zones critiques, de quantifier les amplitudes d'inconfort probables, etc. Cependant, les méthodes CFD ne donne pas un rendu parfait de la vitesse du vent en tout point à cause de la complexité de l'écoulement du vent dans les milieux tels qu'étudiés ici. Il faut donc considérer les simulations CFD de milieux bâtis comme un outil d'aide pour l'évaluation des moyennes de vitesses du vent sur des morceaux d'espaces bâtis mais pas comme un outil de détermination précise de la vitesse du vent en un point déterminé, à l'intérieur du milieu étudié. Il reste à signaler que plus les maillages sont fortement densifiés, plus des résultats plus précis pourront être obtenus.

Le logiciel Fluent a donc été validé pour des études de confort de vent autour des bâtiments pour des configurations relativement simples. Cependant, si Fluent est validé pour l'évaluation des vitesses moyennes du vent autour des constructions, il faut répondre à des règles de construction des simulations développées ci-dessous. Il s'agit de règles suffisantes pour assurer la qualité d'une simulation CFD du point de vue quantitatif et qualitatif. Les tailles du domaine de simulations recommandé doivent correspondre aux règles suivantes [Reiter, 2007] :

- pour le choix de la hauteur et de la largeur du domaine à simuler, le rapport de blocage ne doit pas dépasser 3%. Le rapport de blocage est le rapport entre la surface au vent des obstacles modélisés et la surface formée par le produit de la hauteur et de la largeur du domaine simulé, qui correspond généralement au plan d'introduction de l'air dans la simulation ;

- la forme de la section du domaine à simuler (hauteur x largeur) doit de préférence s'approcher de la coupe au vent de la configuration bâtie modélisée ;
- la longueur du domaine s'étend en amont des bâtiments sur une distance de 10H et en aval sur une distance de 16H, où le H représente la hauteur du bâtiment le plus élevé.

Analyse de l'impact des pressions du vent exercé sur les parois du bâtiment sur les consommations de celui-ci [TAS]

Afin de quantifier cet impact des pressions du vent, exercées sur les parois du bâtiment, sur les consommations, nous comparerons les consommations du bâtiment avec et sans l'influence de la pression qu'exerce le vent sur les parois. Car une fois les pressions sur les parois connues (voir point précédent), il est possible d'introduire ces valeurs de coefficient de pression dans un logiciel (TAS) calculant les consommations. Cela permet donc de connaître l'impact entre le vent et le bâtiment. Faute de temps, cette deuxième phase n'est pas encore complètement aboutie et ne sera pas présentée dans le présent rapport.

Le logiciel utilisé pour réaliser le lien entre l'étude microclimatique des écoulements des vents et l'impact sur les consommations des bâtiments est TAS (Thermal Analysis Software). Ce logiciel permet de modéliser le comportement thermique et énergétique par Simulation Thermique Dynamique des bâtiments. La modélisation des bâtiments se fait suivant les plans du bâtiment qui on pu être obtenu. Cette partie ne sera pas détaillée ici.

L'ensemble de la méthodologie suivie est illustré par la figure suivante.

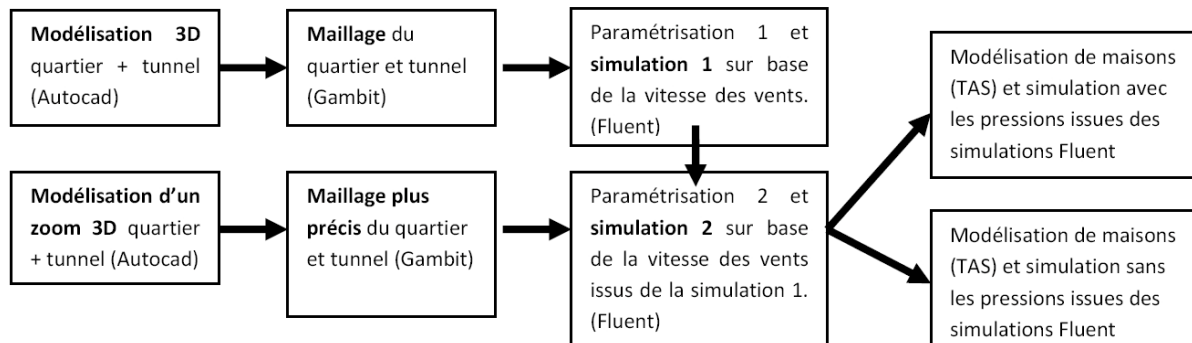


Figure 3 : Synthèse de la méthode proposée

2.2. Le microclimat : l'ensoleillement

L'ensoleillement reçu par les façades des bâtiments, qui constitue le deuxième volet de l'analyse microclimatique, est évalué, lors des simulations thermiques dynamiques, grâce aux logiciels Pleiades+Comfie car il a un impact direct sur les besoins en chauffage des bâtiments. Le logiciel est décrit ci-dessous. L'ensoleillement reçu par les façades faisant partie intégrante de l'approche sur l'évaluation des consommations de chauffage, les simulations et résultats seront présentés dans la section dédiée à l'évaluation énergétique des bâtiments de chaque quartier.

2.3. L'énergie des bâtiments

Sur base de l'état de l'art des méthodes existantes (Phase I, chapitre 4) et compte tenu de l'absence d'une méthode permettant de prendre directement en compte l'ensemble d'un quartier, l'approche développée pour évaluer les consommations énergétiques des bâtiments, dans le cadre de la présente recherche, se base sur une classification typologique des bâtiments du quartier puis une agrégation au niveau du quartier. Pour rappel, cette approche est employée notamment dans les recherches Ariadne (projet d'analyse en cycle de vie adaptée au quartier développé dans le cadre du travail de thèse de Popovici [2006]) et Energy and Environmental Prédiction (EEP se base sur une typologie de 100 bâtiments, obtenus sur base de la forme et de l'âge des bâtiments, auxquels sont attribués des valeurs d'émissions et coûts énergétiques annuels [Jones et al, 2001]). Les différentes étapes de l'évaluation énergétique des bâtiments sont décrites ci-dessous.

2.3.1. Méthodes et outils

Il convient d'abord, sur base des documents disponibles et de visites de terrains, de dresser une typologie de bâtiments implantés dans le quartier soumis à l'étude. De cette analyse typologique, un certain nombre de « bâtiments-types » considérés comme représentatifs de l'ensemble des bâtiments du quartier, au niveau de la forme, de la fonction, de l'orientation et de la période de construction sont déterminés et paramétrés.

Chacun des bâtiments-types est ensuite soumis à une simulation thermique dynamique réalisée à l'aide des logiciels Alcyone et Pleiades+Comfie, développés par Centre d'Energétique de l'Ecole des Mines de Paris. Alcyone est un modeleur 2D-3D qui transfère les données architecturales à l'outil de simulation thermique Pleiades+Comfie. Le modèle importé d'Alcyone doit être complété par des données sur l'utilisation du bâtiment et des données météorologiques horaires. Le programme Pleiades+Comfie calcule alors les besoins d'énergie (chauffage, climatisation et éclairage) et les températures horaires pour les différentes zones thermiques du bâtiment, en régime dynamique. L'influence des masques (maisons voisines, massifs végétaux, etc) est évaluée de façon à déterminer si ces masques doivent être considérés ou pas.

Pour simplifier les résultats et mettre en évidence les indicateurs simplement morphologiques, on décide, en cohérence avec d'autres études du même type ([PUCA, non daté], notamment) non pas de comparer les consommations énergétiques qui dépendent d'un système de production ou de distribution, mais de comparer des besoins nécessaires à la régulation thermique du logement (ici pas de climatisation).

Le logiciel Pleiades+Comfie fournit en sortie une série d'indicateurs dont ceux qui nous intéressent, dans le cadre de la présente étude, sont :

- Les besoins en chauffage (annuel et par m²) ;
- Les températures minimum, maximum et moyenne et le taux d'inconfort (% du temps d'occupation pour lequel la température est supérieure à 27°C.) ;
- Les apports solaires bruts : énergie qui pénètre dans le bâtiment par les vitrages ;
- Les déperditions.

Les besoins en chauffage annuel des bâtiments-types seront finalement sommés, au pro rata de la répartition de chacun pour donner la consommation énergétique globale imputable aux bâtiments, à l'échelle d'un quartier. Les besoins d'énergie pour le chauffage des bâtiments peuvent ensuite être ramenés à une maison, à un m² ou à un habitant pour faciliter les comparaisons entre quartiers.

2.3.2. Hypothèses

Implantation et géométrie du bâtiment

Les simulations thermiques sont réalisées sur base des données météorologiques de la station d'Uccle. Le climat (situation géographique) n'est en effet pas une variable au même titre que les suivantes dans le sens où il s'agit d'un paramètre exogène à la forme urbaine mais elle entre en compte dans les simulations [PUCA, non daté]. Les masques lointains (bâtiments voisins, végétation, etc. qui bloquent une partie du rayonnement solaire direct à certaines heures et saisons) sont évalués au cas par cas pour déterminer s'il convient de les prendre en compte ou pas. Les modélisations sont réalisées en considérant une seule zone thermique (la zone chauffée). La géométrie des bâtiments-types est renseignée sur base des plans des permis de bâtir et/ou de relevé sur site.

Caractéristiques constructives

Les caractéristiques constructives à attribuer aux parois et fenêtres des bâtiments-types sont déterminées en fonction de la période de construction du bâtiment. Cette approche simplificatrice consistant à attribuer des caractéristiques constructives identiques à tous les bâtiments construits pendant la même période de temps est communément employée dans les études scientifiques similaires à la notre.

Trois périodes de construction sont considérées (avant 1981, de 1981 à 1996 et après 1996). Elles ont été déterminées sur base de l'évolution de la réglementation thermique en Région wallonne (voir phase I) et des découpages temporels des données INS de façon à faciliter le recoupement des données recueillies.

	1960- 1981 ¹	1981 – 1996	Après 1996
Type d'isolation	Extérieure	Extérieure	Extérieure
Isolation mur	Aucune	3 cm de PUR	6 cm de PUR
Isolation dalle de sol	Aucune	3 cm de PUR	6 cm de PUR
Isolation toiture	Aucune	8 cm de laine minérale	10 cm de laine minérale
Type de vitrage	Double vitrage	Double vitrage	Double vitrage
U des vitrages	2,96 W/m ² .K	2,76 W/m ² .K	2,76 W/m ² .K
Ponts thermiques	Par défaut ²	Par défaut	Par défaut

Tableau 1 : caractéristiques constructives selon la période de construction

¹ La plupart des bâtiments construits dans les quartiers choisis sont construits après 1960. La seule exception est la cité Chavée (Type 2) qui est construite en 1930. Pour ces bâtiments, nous utiliserons un simple vitrage.

² Le logiciel Pleiades+Comfie permet de prendre en compte les ponts thermiques par défaut, ce qui permet de simplifier l'analyse. C'est une méthode simplifiée. Les linéiques pris en compte sont les périmètres de plancher avec un coefficient k égal à 0,7.

La date de construction de chaque bâtiment est déterminée grâce aux données cadastrales de l'Administration Générale de la documentation patrimoniale du Service Public Fédéral - Finances. Ces données datent du 1er janvier 2009

Les données de l'enquête sur la qualité de l'habitat en Région wallonne [MRW, 2007] menée auprès des occupants de 6.014 logements confirment le faible taux d'isolation général des maisons unifamiliales, surtout pour celles construites avant 1970 [voir phase I]. Pour rappel, l'enquête relève notamment que 52,2% des toitures sont isolées thermiquement en totalité, 10,7% en partie, et 37% ne sont pas isolées. Dans plus de 75% des cas, le matériau utilisé est la laine minérale. Une analyse plus approfondie révèle qu'à peine 10% des toitures isolées disposent d'une épaisseur d'isolant supérieure à 12 cm, ce qui est relativement faible au vu des recommandations actuelles. Moins de 30% des murs extérieurs sont totalement isolés, 7% sont partiellement isolés et 64,1% ne sont pas isolés. Ici aussi, l'épaisseur d'isolant est faible en regard des standards actuels. Deux tiers des logements qui ont des murs isolés datent d'après 1971. En termes d'épaisseur, 18,1% des logements isolés présentent entre 1 et 3 centimètres, 38% de 4 à 6 centimètres et 15,8% de 7 à 10 centimètres (28,2% d'épaisseur inconnue). Les matériaux les plus couramment utilisés sont les panneaux synthétiques (40,2%), la laine minérale (35,5%) et les matériaux naturels (18,8%). Plus de 80% des bâtiments wallons disposent, par contre de vitrages isolants. Le matériau le plus utilisé pour les châssis est le bois (62,6% des constructions principales), puis le PVC (29,4%). Il n'y a pas d'isolation des planchers dans 72,2% des bâtiments. L'isolation des sols est totale dans 21,2% et partielle dans 6,5% des cas. L'épaisseur la plus courante de 4 à 6 centimètres (31,8%) puis 1 à 3 centimètres et 7 à 10 centimètres (respectivement 20,9 et 20,1%). Les panneaux isolants sont le plus couramment utilisés (49,2%), suivis des mortiers isolants (30,4%). Par ailleurs, remarquons enfin, que selon certaines sources ([CFDD, 2003] cité dans [CPDT, 2005]), 90% des nouvelles constructions ne respectent pas les normes d'isolation en vigueur, pourtant inférieures à celles d'autres pays européens.

Scenarii d'occupation

Outre la géométrie du bâtiment et les caractéristiques des murs et fenêtres, les aspects suivants ont été pris en considération lors des simulations thermiques :

- Ventilation extérieure constante de 0,6 vol/heure ;
- Scénario d'occupation : 25% de 8 à 18 heures en semaine, 100% le reste du temps ;
- Nombre d'occupants maximum : 4 (2 si la superficie habitable est inférieure à 60m²) ;
- Apports internes dus à l'éclairage et aux appareils électroménagers : 625kWh/résident.an. La différence par rapport à la moyenne française (800kWh/résident.an) correspond à la consommation des lave-linge et lave-vaisselle qui n'est pas considérée comme apport interne car l'eau chaude est évacuée [Popovici E., 2006] ;
- Consigne de thermostat : 15°C de nuit et 19°C de jour pour la zone chauffée ;
- Masques proches : débords de toiture, retraits des fenêtres.

2.4. L'analyse de cycle de vie

2.4.1. Méthodes et outils

L'analyse des consommations énergétiques de bâtiments qui participera au bilan global au niveau du quartier est complétée d'une analyse de cycle de vie de quelques bâtiments-types réalisée au moyen du logiciel EQUER³ de l'Ecole des Mines de Paris. Il s'agit d'un module couplé au logiciel de simulation dynamique Pleiades+Comfie qui permet de réaliser une analyse détaillée de l'impact environnemental du bâtiment étudié. Ainsi, l'énergie nécessaire au chauffage et à l'éclairage du bâtiment n'est plus perçue comme une simple quantité de kWh, mais appréhendée selon une série de critères environnementaux. D'autre part, l'énergie ne concerne pas que le chauffage ou l'éclairage : l'énergie nécessaire à la fabrication des matériaux de construction, à leur transport jusqu'au bâtiment ou à l'alimentation en eau potable comme l'énergie récupérée par incinérateur couplé à un réseau de chaleur, par exemple, sont prises en compte. Des aspects non liés à l'énergie (gestion de l'eau, matériaux de construction, transport, déchets.) sont aussi pris en compte. Le champ de l'analyse s'est donc véritablement élargi et permet des études plus globales. [Peuportier B., 2004].

Le logiciel d'analyse en cycle de vie EQUER fournit en sortie une série de 12 indicateurs environnementaux, calculés pour les 4 phases du cycle de vie d'un bâtiment (construction, utilisation, rénovation, démolition). Dans le cadre qui nous occupe, nous étudierons particulièrement 2 de ces indicateurs :

- La consommation d'énergie primaire (GJ) ;
- L'effet de serre (T de CO₂).

Rappelons une fois de plus que la marge d'incertitude sur les données et les résultats d'une analyse en cycle de vie d'un bâtiment peut être élevée. Un premier niveau d'imprécision concerne l'évaluation des flux de matière et d'énergie (données de l'inventaire). Un deuxième niveau concerne l'agrégation en effets (impacts potentiels). Enfin, une autre cause d'imprécisions est liée à la durée de la période d'analyse. Il est en effet difficile de prévoir l'évolution des techniques dans les 100 prochaines années (par exemple, en ce qui concerne le traitement des déchets après la démolition d'un bâtiment). Les résultats proposés pour l'analyse en cycle de vie doivent ainsi être étudiés avec précaution et interprétés par comparaison entre variantes.

2.4.2. Hypothèses

Les données d'entrée nécessaires à l'analyse de cycle de vie d'un bâtiment dans EQUER sont structurées en 5 thèmes principaux : les matériaux de construction, l'énergie, l'eau, les déchets et le transport des occupants. La durée du cycle de vie est fixée à 80 ans⁴.

Les données utilisées dans le logiciel EQUER proviennent de la base suisse Oekoinventare, ou

³ Evaluation of environmental quality of building

⁴ Il s'agit de la durée de vie communément admise dans la littérature traitant d'analyse de cycle de vie. Cette durée pourra faire l'objet des variations paramétrées de la phase III de la recherche, notamment dans le cadre de l'évaluation de scénarios de rénovation vs démolition – reconstruction.

Ecoinvent, (Ecole Polytechnique de Zurich et Université de Karlsruhe) et de données collectées durant le projet européen REGENER. Ces inventaires se présentent sous forme de flux élémentaires correspondant à un procédé (fabrication d'un matériau, process énergétique, etc.). Le nombre important de ces flux (environ 400) rend la manipulation des fichiers très lourde. Pour en simplifier l'utilisation, EQUER passe par un stade intermédiaire dans lequel les inventaires sont stockés sous forme agrégée, afin de condenser les informations en les regroupant par thèmes (12) [Peuportier B., 2004]. Il est donc difficilement envisageable de modifier ces informations ou d'en ajouter de nouvelles. Nous utiliserons donc les équivalences proposées par défaut dans le logiciel. Pour les autres données (voir ci-dessous), les valeurs fournies par défaut par le logiciel EQUER sont modifiées au cas par cas, pour correspondre aux comportements wallons.

Les matériaux de construction

Les autres hypothèses posées concernant les matériaux de construction sont :

- Surplus de matériau en phase de chantier : 5% ;
- Durée de vie des châssis et fenêtres : 30 ans ;
- Durée de vie des revêtements : 15 ans ;
- Distance de transport du site de fabrication au chantier : 50 km ;
- Distance de transport du chantier à la décharge en fin de vie : 50 km.

L'énergie

Les besoins en chauffage de l'enveloppe calculés dans Pleiades+Comfie sont couplés au logiciel EQUER. Il convient, en plus, de spécifier :

- Le mix de production d'électricité de base pour la Belgique : 78% nucléaire, 13% de gaz naturel, 7% d'énergie renouvelable, 5% de coke et charbon, 2% de pétrole [Cellule Etat de l'Environnement, 2008] ;
- Le type d'énergie utilisé pour le chauffage (dépend du quartier) ;
- Le type d'énergie utilisé pour l'eau chaude sanitaire (dépend du quartier) ;
- Les consommations électriques supplémentaires : 280 Wh/personne.jour ;
- Les consommations de gaz : 200 Wh/personne.jour.

L'eau

- Le rendement du réseau d'eau (qui dépend des fuites dans les canalisations d'eau potable) : 80% ;
- La consommation d'eau froide : 90 litres/personne.jour (moyenne wallonne, [Cellule Etat de l'Environnement, 2008] ;
- La consommation d'eau chaude : 40 litres/personne.jour (moyenne wallonne, [Cellule Etat de l'Environnement, 2008] ;
- La présence de toilettes sèches : non.

Les déchets

- La présence d'une collecte sélective du verre et du papier : oui ;

- Le pourcentage de verre collecté et de papier collecté : 50%;
- Le pourcentage de déchets incinérés : 50%, sans valorisation énergétique ;
- Le poids des déchets : 900 grammes/personne.jour (moyenne wallonne, [Cellule Etat de l'Environnement, 2008]) ;
- La distance du bâtiment aux sites de décharge, d'incinération et de recyclage (dépend du quartier).

Le transport des personnes

Comme mentionné dans la phase I (chapitre 4.2), le module simplifié de calcul proposé dans EQUER est trop réducteur que pour être utilisé dans le cadre de notre étude. Nous ne prendrons donc par le transport des personnes en considération dans l'analyse en cycle de vie d'un bâtiment dans EQUER mais développerons notre propre outil de calcul du transport des personnes à l'échelle du quartier.

2.5. Le transport des personnes

2.5.1. Méthodes et hypothèses

L'état de l'art des méthodes existantes en termes de transport des personnes, réalisé en phase I, a mené à la conclusion de l'absence de méthodes rencontrant nos objectifs et pouvant être appliquées telle quelle, avec des résultats suffisamment précis, à l'échelle d'un quartier. Nous avons donc pris le parti de développer notre propre méthode d'évaluation des consommations inhérentes au transport des personnes à l'échelle du quartier. Notre approche se base sur les données statistiques disponibles les plus fines, c'est-à-dire les données présentées à l'échelle des secteurs statistiques et aborde les déplacements domicile-travail et les déplacements scolaires. La première hypothèse de travail consiste donc, dans un premier temps à ne considérer que les déplacements domicile-travail et les déplacements scolaires dans le bilan énergétique global du quartier. Cette hypothèse est couramment utilisée dans la littérature et se justifie par la régularité et l'importance des trajets domicile-travail qui représentent une part significative de la mobilité. Ils ont, en effet, un caractère structurant qui influence les autres types de déplacements [CPDT, 2005]. Un module complémentaire, développé pour prendre en compte les déplacements domicile-gare, dans le cas de l'utilisation du train comme mode principal, complète la méthode.

Les déplacements domicile-travail

Nous disposons, pour l'année 1991⁵, des données suivantes relatives aux déplacements domicile-travail :

- Les distances parcourues pour les trajets domicile-travail (9 classes) ;
- Le moyen de transport principal utilisé pour les déplacements domicile-travail (9 modes) ;
- Le % de la population du quartier qui est active et occupée dans le quartier statistique ;
- Le temps de travail de la population active occupée (5 classes).

⁵ Un nouveau recensement a été réalisé en 2001 mais les résultats, en ce qui concernent les déplacements, ne sont pas encore disponibles.

Les différentes étapes de la méthode proposées peuvent être synthétisées comme suit :

- Déterminer la population active occupée du quartier d'étude, sur base des données « ménages et population » de l'enquête socio-économique ;
- Déterminer le nombre total de trajets simples (un aller ou un retour) sur un an, et pour tout le quartier. Il s'agit, pour ce faire, d'attribuer un nombre de trajets annuels moyens à chaque classe de temps de travail suivant la clé de répartition proposée dans le tableau suivant, et de multiplier les trajets annuels par le nombre de personnes du quartier qui les effectuent ;

	< 10h	10 – 19h	20 - 29h	30 – 39h	>40h
Trajets par semaine	2	4	7	9	10
Semaine de travail par an	48				
Total des trajets par an	96	192	336	432	480

Tableau 2 : Nombre de trajets simples par an en fonction du temps de travail

- Sommer le nombre de trajets obtenus pour chaque classe de temps de travail de façon à obtenir le nombre total de trajets domicile-travail effectués par an, pour tout le quartier ;
- Les trajets domicile-travail par an pour tout le quartier doivent ensuite être répartis par mode de transports. Pour simplifier le traitement nous ramènerons les 9 modes de transport présents dans les tableaux statistiques en 5 classes : la voiture (« voiture en tant que conducteur » et « voiture en tant que passager »), le bus (« bus, tram, métro » et « transport organisé par l'employeur »), le train (« train »), la moto (« moto et scooter ») et les modes doux (« vélo, vélomoteur » et « à pieds, aucun »). Les « moyens de transport inconnus » sont ventilés sur les 5 classes déterminées. La classe « modes doux » ne participent pas au bilan dans le sens où ces modes doux n'engendrent pas de consommation. Dans la pratique, on peut de plus supprimer la classe « moto » qui ne représente pas, ou très peu, de déplacements domicile-travail ;
- Il reste à déterminer la distance parcourue par trajet. On répartit, en première approche, les distances parcourues fournies dans les données statistiques (<3km, [3 – 5km[, [5 – 10 km[, [10 – 20km[, [20 – 30km[, [30 – 50km[, [50 – 70 km[, >70km) uniformément sur chaque mode, car les données statistiques ne permettent pas de désagréger les distances parcourues par mode de transport. Il convient ensuite d'y apporter un correctif dans le sens où parcourir plus de 30 kilomètres en bus ou moins de 5 kilomètres en train paraît peu réaliste. L'approche adoptée consiste à reporter les trajets en train de moins de 5 kilomètres sur le bus, et les trajets en bus de plus de 30 kilomètres sur le train. Cette étape fournit, en sortie, le nombre de kilomètres parcourus par an, à l'échelle du quartier, et par mode de transport « consommateur d'énergie » (la voiture, le bus et le train) ;
- Afin de transformer ces kilomètres parcourus en une unité représentative de la consommation d'énergie, il convient finalement d'appliquer à chaque mode un facteur de consommation (pour obtenir des données en kWh, de façon à permettre de sommer ces consommations avec celles relatives aux bâtiments et à l'éclairage public). La détermination de ces facteurs de consommation se base sur le bilan carbone français [ADEME, 2007] et l'étude menée par la CPDT [2005] sur les émissions de CO₂ et la contribution du développement territorial à la réduction de l'effet de serre. En ce qui

concerne les voitures, il convient de distinguer véhicule diesel et véhicule essence dans le sens où leurs consommations peuvent différer de façon significative. Nous utiliserons la moyenne wallonne [SPW, 2008], à savoir, 55% de véhicules diesel et 45% de véhicules essences. Les consommations moyennes pour les véhicules diesel et essence utilisées sont des moyennes françaises utilisées dans le bilan carbone : respectivement 6,8 et 8 litres par 100 kilomètres. Les bus wallons TEC utilisent le diesel. Leur consommation moyenne est de 46 litres de diesel par 100 kilomètres, selon les données transmises par le SRWT à la CPDT. On suppose un taux d'occupation moyen de 1,2 personne par voiture et de 10 passagers par bus (estimation de la CPDT [2005] sur base des données TEC Liège-Verviers). Les litres de diesel / essence doivent enfin être transformé en kWh. On se réfère aux facteurs de conversion couramment utilisés (guide statistique de l'Energie canadien, CPDT, etc.) et résumés dans le tableau suivant pour obtenir finalement un facteur de conversion à appliquer aux kilomètres parcourus en voiture diesel, voiture essence et bus ;

	Voiture Diesel	Voiture Essence	Bus TEC Diesel
Consommations / km	0,068 litre	0,08 litre	0,46 litre
Taux de remplissage	1,2	1,2	10
Consommation/ km.personne	0,05666	0,06667	0,046
Densité du carburant / 1.000 litres (en tep ⁶)	0,859	0,745	0,859
Facteur de conversion des tep en kWh	1 tep = 12.602 kWh		
Facteur de consommation par personne et par km	0,6134	0,6259	0,4986

Tableau 3 : Calcul des facteurs de consommation pour les voitures (essence et diesel) et le bus

- Pour le train, la méthode adoptée diffère dans le sens où la quasi-totalité des lignes voyageur est actuellement électrifiées en Wallonie. Le facteur d'émissions de CO₂ par voyageurs-km retenu par la CPDT [2005], sur base d'une estimation de l'IWEPS est de 35 grammes de CO₂ par voyageur-km. Si on considère, avec l'ADEME [2007] que 1kWh électrique produit 0,09 kg de CO₂, on peut estimer un facteur de consommation attribuable au train de 0,3888 ;
- Il suffit enfin, pour obtenir la consommation énergétique relative aux déplacements domicile-travail du quartier de sommer les valeurs obtenues pour chacun des modes.

Les déplacements scolaires

Nous disposons, pour les déplacements scolaires, des mêmes données que pour les déplacements domicile-travail, à savoir :

- La distance parcourue pour les déplacements scolaires ;
- La répartition modale ;
- La part d'étudiants dans le quartier.

⁶ Tep = tonne équivalent pétrole

L'approche utilisée pour estimer la consommation énergétique attribuable aux déplacements scolaires est identique à celle présentée pour les déplacements domicile-travail. Elle est toutefois plus simple dans le sens où un étudiant, quel qu'il soit, est supposé effectuer 10 trajets simples par semaine, et ce durant 36 semaines par an.

Les déplacements domicile-gare

Les données statistiques utilisées ci-dessus se réfèrent au mode de transport principal utilisé pour les déplacements. Le trajet du domicile à la gare dans le cas où le train est le mode de transport principal n'est donc pas pris en compte. Si la part modale du train est relativement faible dans les déplacements domicile-travail, elle devient plus importante dans le cas des déplacements scolaires. En milieu urbain dense, les déplacements du domicile à la gare pourraient être négligés dans le sens où ces tissus urbains sont généralement bien équipés en gare ferroviaire, alors que dans les quartiers périurbains qui nous occupent, on peut supposer que les trajets jusqu'à la gare sont effectués en voiture, compte tenu du faible niveau de service des transports en commun et de la distance qui les sépare des gares. Ne disposant pas de données statistiques relatives à ces déplacements, l'approche développée se base sur les caractéristiques de chaque quartier. Ainsi, il s'agit de :

- Déterminer la gare la plus proche du quartier et mesurer la distance qui les sépare ;
- Multiplier cette distance par le nombre de trajets annuels en train ;
- Evaluer la répartition modale, sur base de l'offre en transport en commun et de la distance à parcourir du quartier à la gare ;
- Appliquer les facteurs de consommation définis plus haut ;
- Sommer les résultats.

2.5.2. Limites et perspectives

Comme nous l'avons déjà mis en évidence dans l'état de l'art concernant les méthodes existantes pour aborder le transport des personnes, l'incertitude est souvent élevée du fait de l'absence de données précises couvrant chacun des motifs de transports. Notre méthode offre l'avantage, par rapport aux méthodes existantes souvent utilisées à une échelle plus large, de se baser sur des données de déplacements relatives à chaque quartier particulier (et donc pas une moyenne régionale ou nationale comme le bilan carbone de l'ADEME [2007] par exemple) et donc d'être relativement proche de la réalité en ce qui concerne le mode utilisé et les distances parcourues.

Parmi les améliorations qui pourraient être apportées à la méthode on peut citer : l'actualisation des données quand l'enquête de 2001 sera disponible, l'attribution de consommations selon l'année de mise en circulation des véhicules plutôt que l'utilisation de valeurs moyennes, etc.

Dans la suite de la recherche, l'approche adoptée sera étendue aux déplacements liés à des motifs commerciaux et de loisirs. Nous ne disposons pas de données de type statistique pour ces motifs de déplacement, et adopterons donc une approche différente, basée sur des scénarios de déplacement définis en fonction de la localisation des commerces, centres de sport, etc. Enfin, remarquons, comme la littérature l'a mis en évidence que les déplacements liés aux vacances sont très difficilement appréhendables et n'ont pas le caractère structurants des déplacements domicile-travail, notamment. Ils ne se seront pas abordés dans la recherche.

2.6. Le réseau d'éclairage public

2.6.1. Méthodes et hypothèses

Notre étude des consommations relatives aux réseaux publics se limite pour l'instant au réseau d'éclairage public, en phase d'utilisation (on traite de l'évaluation de quartiers existants). La méthode pour obtenir la consommation annuelle totale d'énergie de l'éclairage public, en phase d'utilisation est relativement simple. Il s'agit de relever le nombre de points lumineux, le type de lampe, leur puissance et les caractéristiques du ballast. Nous utiliserons pour chaque quartier un nombre d'heures de fonctionnement annuel de référence de 4.100 heures. Il s'agit d'une évaluation basée sur les pratiques actuelles, qui dépendent des gestionnaires de réseaux. Traditionnellement, le nombre d'heures de fonctionnement annuel de l'éclairage public s'élève de 4.085 h à 4.200 heures [données fournies par M. Duquesne, Conseillère énergie à l'UVCW].

Le type de lampe dans chaque quartier est déterminé par observation, la puissance des lampes provient de l'inventaire des parcs d'éclairage communaux lancé en 2007 par la DGTRE (il s'agit d'une puissance moyenne) et un coefficient multiplicateur de 1,26 est utilisé pour prendre en compte le ballast (traditionnellement 22 à 30%).

2.6.2. Limites et perspectives

Dans la suite de projet, la méthode pourra être affinée de façon à prendre en compte l'entretien et le remplacement des lampes. L'extension de la méthode à d'autres réseaux pourrait être étudiée.

2.7. Synthèse

La méthode présentée ci-dessus est développée sous forme de feuilles de calculs Excel. Elle permet d'évaluer les consommations énergétiques des bâtiments, du transport des personnes et de l'éclairage public et d'exprimer ces valeurs dans une unité commune qui est le kWh/an. La somme de ces trois composantes donnent une image globale à l'échelle du quartier qui peut être ramenée, à la maison, à l'habitant ou au m² pour permettre une comparaison aisée de l'influence globale et de l'influence particulière de chacun des trois domaines entre quartiers.

Rappelons enfin que notre étude se concentre sur les seuls impacts liés à la forme urbaine, il est donc clairement présumé que tout paramètre exogène d'ordre socio-économique par exemple serait exclu du champ d'indicateurs. Les analyses présentées ci-dessus ne portent ainsi que sur certains aspects quantifiables de la qualité environnementale. Les appréciations plus subjectives ou sociologiques concernant l'esthétique, la qualité de vie ou les revenus, par exemple, sortent du travail qui fait l'objet de la recherche SAFE.

3. Les modélisations de l'écoulement des vents

3.1. Les modélisations

L'étude des quartiers au moyen du logiciel CFD s'est opérée en deux étapes. Malgré que cela demande deux modélisations, deux maillages et deux simulations, l'intérêt de cette approche en deux phases part d'un double objectif. Celui d'étudier des quartiers dans leur ensemble ce qui implique des distances assez importantes à prendre en compte (cfr présentation des quartiers) mais aussi celui de l'analyse de certains bâtiments en particulier vu que l'étude se concentre aussi sur l'échelle de ceux-ci. Cette technique permet de profiter des résultats de la première phase pour développer la simulation relative à l'habitation. Le fait de diviser l'opération en deux étapes au lieu de concentrer le maillage dans la zone étudiée est due également aux limites du nombre de mailles traitées par le logiciel CFD (maximum 2 millions).

La modélisation des quartiers [Autocad + Gambit (CFD)]

Les quartiers ont été modélisés deux fois à des échelles différentes : la première, permettant une simulation générale du quartier, est composée de blocs (Figure 4) et la seconde est une modélisation plus précise mais concentrée autour de seulement quelques bâtiments (Figure 5).

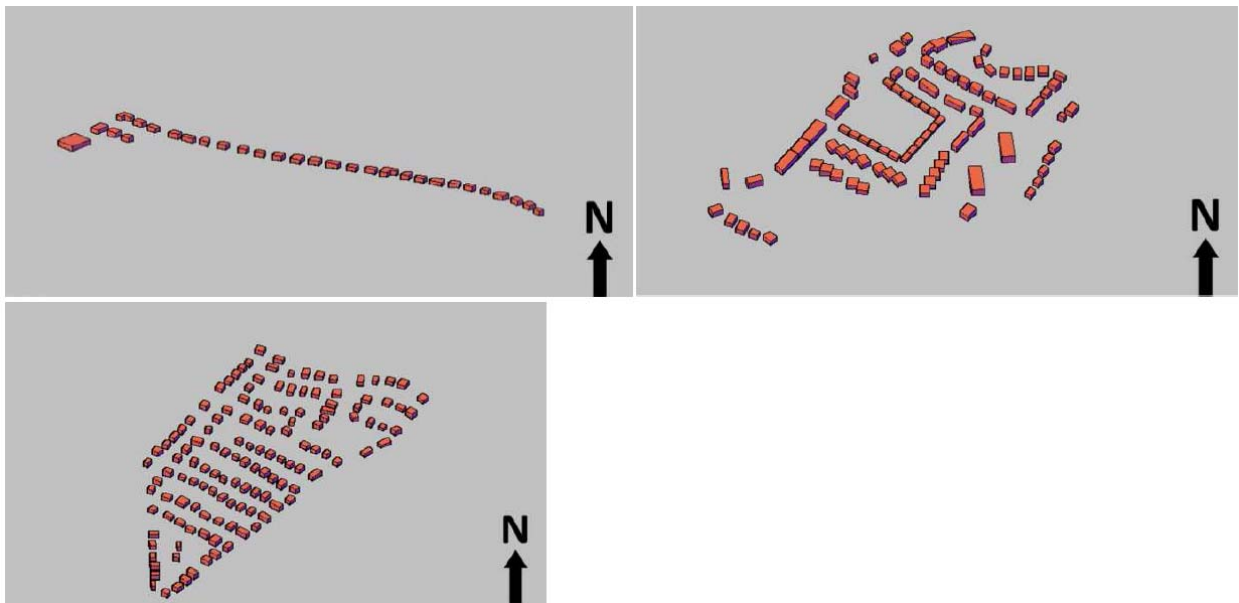


Figure 4 : Modélisations 3D des quartiers pour la première simulation (Autocad).

La géométrie des bâtiments et du quartier a été assez simplifiée pour la simulation (pas de représentation du relief des quartiers, des rues ou trottoirs ni de la végétation). Certains paramètres pourront être testés lors de la phase de variation des paramètres. La deuxième modélisation (voir ci-dessous, Figure 5), représente un zoom des quartiers de type « ruban », « semi-mitoyen » et « nappe ». Celle-ci consiste en une représentation plus précise de la forme des bâtiments (pente des toits). Afin de reproduire l'aspect de la densité au niveau du zoom, des conditions limites de symétries sont imposées sur les bords du quartier.

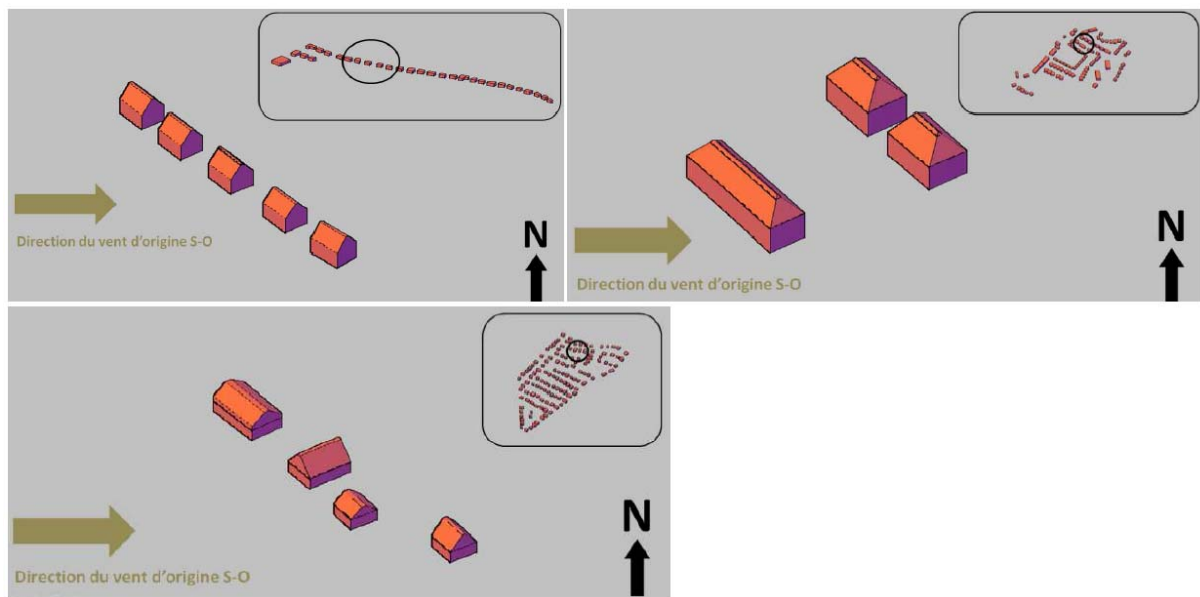


Figure 5 : Zoom pour les quartiers de type « ruban », « semi-mitoyen » et « nappe » (Autocad)

Toutes ces modélisations sont inscrites dans des tunnels à vent numériques déterminant le domaine étudié. Les vitesses du vent sont introduites par une limite ou surface de ce domaine et elles ressortent par une autre. Les dimensions des cadres ont été définies sur base de l'étude de S. Reiter [2007]. (voir la discussion au point « 2.1. Le microclimat : l'écoulement du vent » au point Méthode et outils). Notons que les tailles des différents domaines sont adaptées à la taille des différents quartiers.

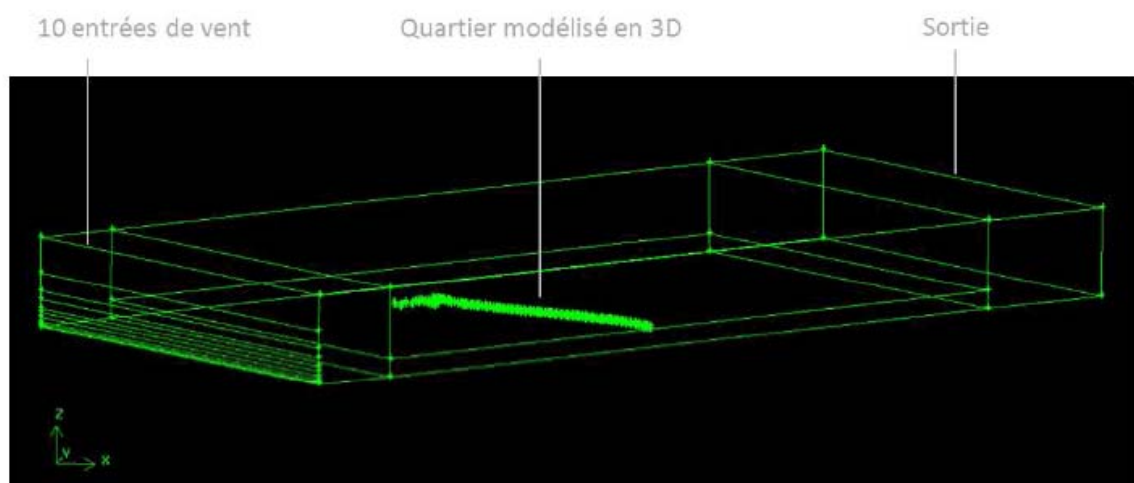


Figure 6 : Exemple pour le quartier de type « ruban » (CFD Gambit)

Il est certain que pour la facilité de la modélisation, beaucoup de paramètres ont été omis. Certains présentent clairement un impact sur la vitesse des vents telle la végétation (forêt, arbres, haies) qui joue un rôle en tant qu'obstacle et donc freine le vent. Il s'agit de paramètres qui seront pris en compte lors de la phase de variations des paramètres.

La modélisation du vent [Conditions limites dans Fluent (CFD)]

La vitesse du vent est un paramètre à la base de l'étude microclimatique de quartier. L'étude de Reiter [2007] permet d'établir un profil du vent suburbain pour une orientation sud-ouest qui correspond au vent dominant en Belgique. Ce qui donne :

$$\text{Vitesse du vent (m/s)} = U = 0,4 z^{0,235} 4$$

où 0,4 = le coefficient dépendant de condition (K)

z = l'altitude en m

0,235 = la rugosité (α)

4 = la vitesse du vent à 10 m ($U_{10, \text{météo}}$ en m/s)

Les vitesses introduites dans les différentes simulations varient entre 1,8 m/s dans le bas à 5,5 m/s au sommet du domaine. Dans les simulations des quartiers, les tunnels comportent une face représentant les entrées de vent et comportent 10 entrées de vitesse de vent différentes. Dans les simulations avec plus de précision (zoom), les vitesses introduites sont issues de la simulation du quartier. Dans la phase de variation des paramètres, il sera intéressant de faire varier les paramètres liés à la vitesse du vent.

Le maillage [Gambit (CFD)]

L'étude comprend deux maillages différents : le premier plus grossier permet une première approche et le second autorise une étude beaucoup plus fine et d'où découlera l'étude de l'influence entre le microclimat et les consommations des bâtiments.

A l'échelle du quartier (voir Figure 7, à gauche), les bâtiments sont maillés tous les 4 m en largeur et tous les 1 m en hauteur avec le logiciel CFD Gambit. A l'échelle du bâtiment (voir Figure 7 à droite), le bâtiment possède un quadrillage de 0.5 m x 0.5 m. Dans les deux cas, le maillage se densifie autour des bâtiments de manière à obtenir une zone plus précise.

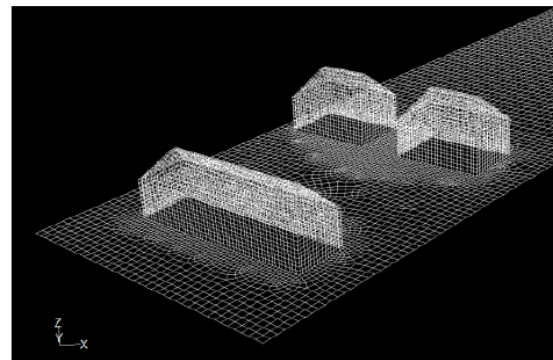
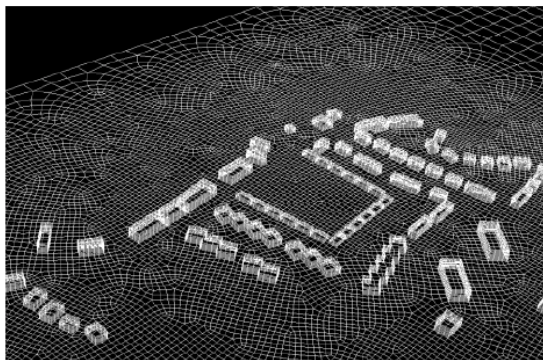


Figure 7 : A gauche la maillage du quartier de type « semi-mitoyen » ; à droite le maillage du bâtiment étudié de ce quartier (vue depuis Fluent)

Les simulations Fluent [CFD]

Des deux maillages par quartier, découlent deux simulations liées chacune à un des deux maillages. La première simulation traite du quartier où les inputs de vent sont déterminés par un profil du vent suburbain (cfr modélisation du vent). Ces inputs varieront « artificiellement » suivant l'équation (1) en fonction de la vitesse imposée à l'altitude de l'entrée. Pour la seconde simulation, ce sont des données relevées lors de la première simulation qui sont introduites pour être à l'origine des inputs de la seconde simulation. Il s'agit des valeurs des vitesses du vent

prises dans un plan choisi du domaine de la première simulation qui sont introduites en entrée de la seconde simulation.

Le modèle et les paramètres des simulations se basent essentiellement sur l'étude de Reiter [2007] où les différents paramètres ont été analysés et optimisés comme cela a été présenté plus haut au point « 2.1. Le microclimat : l'écoulement du vent ».

3.2. Les résultats

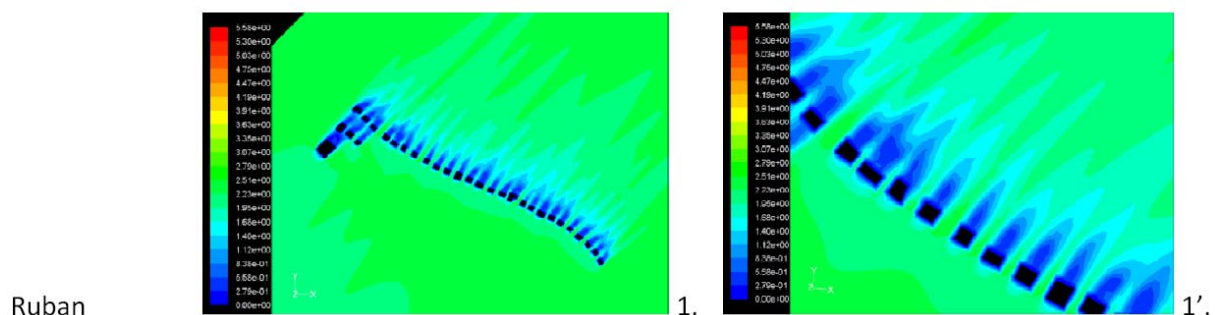
L'analyse des simulations CFD se concentre essentiellement sur la répartition des vitesses dans les quartiers et elle abordera également l'analyse des pressions du vent sur les parois des bâtiments.

Les vitesses

Les conditions de limite en termes de vitesses de vent sont identiques pour chaque quartier, cela permettra donc d'analyser et de comparer précisément l'impact de la densité et de la morphologie des quartiers. Ce qui signifie pour le quartier de type « ruban », quartier le moins dense, que toutes les maisons composant le quartier prennent le vent de plein front (Figure 8).

Elles devront affronter des vents plus forts que ceux de maisons au centre des deux autres quartiers. Dans les quartiers de type « semi-mitoyen » et « nappe », les premières habitations protègent les secondes du vent et c'est ainsi que des maisons au cœur du quartier seront moins exposées au vent. Il faut remarquer cependant que l'espace entre les bâtiments joue un rôle car dans le quartier de type « semi-mitoyen », comportant davantage de blocs plus densément disposés, l'effet de frein au vent est amplifié par rapport au quartier de type « nappe », moins dense, composé, lui, de maisons plus espacées. En effet plus le quartier sera densément construit, moins l'écoulement du vent se fera facilement. Les blocs que forment les maisons mitoyennes du quartier de type « semi-mitoyen » créent un effet de masque par rapport au vent.

La vitesse du vent peut devenir un inconfort lorsqu'elle devient trop importante. La zone de confort peut être analysée à 1,5 m du sol, hauteur témoin pour les piétons. Il n'est pas question ici d'inconfort puisqu'aucune vitesse ne dépasse les 5 m/s. Rappelons que les vitesses introduites dans la première phase des simulations varient entre 1,8 m/s au sol à 5,5 m/s en altitude.



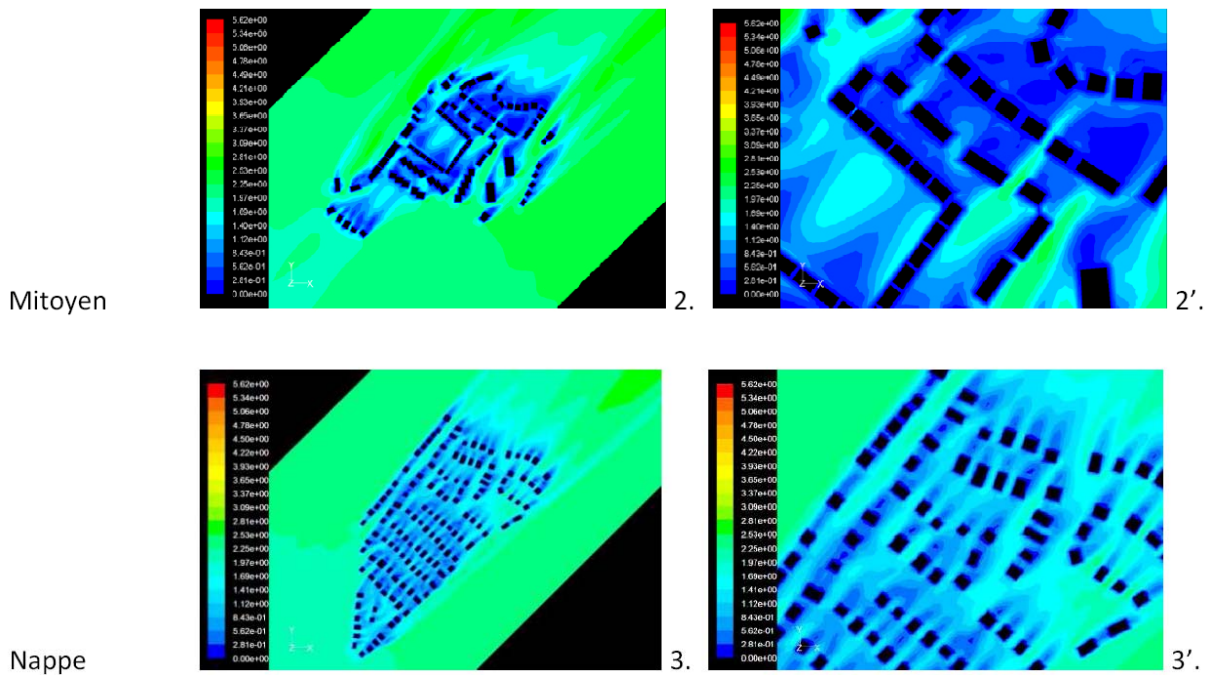


Figure 8 : Ecoulement des vents dans les quartiers (coupe à 1.5 m du sol, hauteur d'analyse du confort piétonnier) fait avec Fluent

Afin d'évaluer plus précisément l'impact du vent à travers le bâti, il faut prendre une valeur de référence soit U_0 qui représente une valeur du vent dans un contexte sans bâtiment, à une hauteur de 1.5 m du sol, hauteur d'analyse du confort piétonnier. A cette valeur, il faut comparer la valeur U , vitesse à l'endroit, analysé du quartier. De là il suffit d'analyser le rapport entre ces deux vitesses : si U/U_0 est supérieur à 1, cela implique que le contexte bâti joue un rôle d'accélérateur de la vitesse du vent, si par contre le rapport de U/U_0 est inférieur à 1, alors on peut en conclure que le bâti ralentit la vitesse du vent créant par cela un microclimat local dû à la présence des bâtiments. L'implantation des bâtiments joue donc un rôle important au niveau du microclimat des quartiers notamment en ce qui concerne le confort piétonnier. Celle-ci peut se révéler parfois assez négative.

Lorsque le vent rencontre un obstacle tel un bâtiment, une accélération se produit à son sommet suivi d'une turbulence à vitesses de vent très faibles, à l'arrière du toit, côté non exposé : le sillage. (Figure 9). Dans le cas illustré, le rapport des vitesses U/U_0 ($= 0,3$) révèle un ralentissement de la vitesse à l'arrière du bâtiment à 1.5 m du sol. Et une accélération au niveau du toit dont le rapport des vitesses est plus grand que 1 ($U/U_0 = 1,3$)

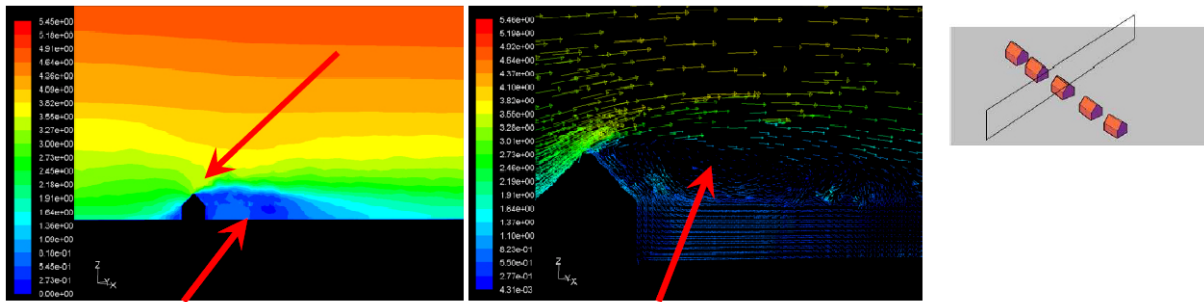


Figure 9 : Coupe dans la maison étudiée dans le quartier de type « rurban » (Fluent)

La figure suivante illustre le même principe au niveau du quartier de type « semi-mitoyens » qui est plus dense que le quartier de type « rurban » et où les bâtiments derrière lui se trouvent dans cette zone de turbulence. L'influence d'une succession de bâtiment permet la présence d'un microclimat local où la vitesse du vent est ralentie. Les tissus homogènes comme le quartier de type « semi-mitoyen » créé un effet de protection car la densité plus élevée du lieu force le vent à contourner l'ensemble de l'obstacle quartier et donc à passer au-dessus des bâtiments. Ce phénomène est bien évidemment plus marquant pour les villes. Il apparait très clairement que pour le quartier de type « rurban », les maisons sont prises davantage comme des éléments individuels ou la présence du bâtiment voisin a moins d'influence sur la trajectoire du vent. Ceci est traduit aussi par les sillages à l'arrière des quartiers : individuelles à l'arrière du quartier de type « rurban » et confondues à l'arrière du quartier de type « semi-mitoyen ».

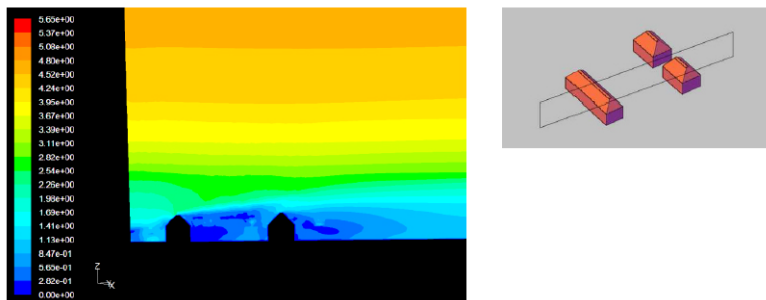


Figure 10 : Quartier de type « semi-mitoyen » (Fluent)

La rencontre d'obstacles peut également créer des phénomènes dit de survitesse sur le bord des bâtiments. Les images ci-dessous illustrent ces phénomènes d'accélération localisée pouvant entraîner dans certains cas des zones d'inconfort. Ce sont la vitesse du vent et les écarts entre bâtiments qui détermineront l'existence ou non et l'ampleur de ces survitesses. Dans le cas des quartiers, il s'agit de faibles survitesses ne mettant pas cause le confort piétonnier.

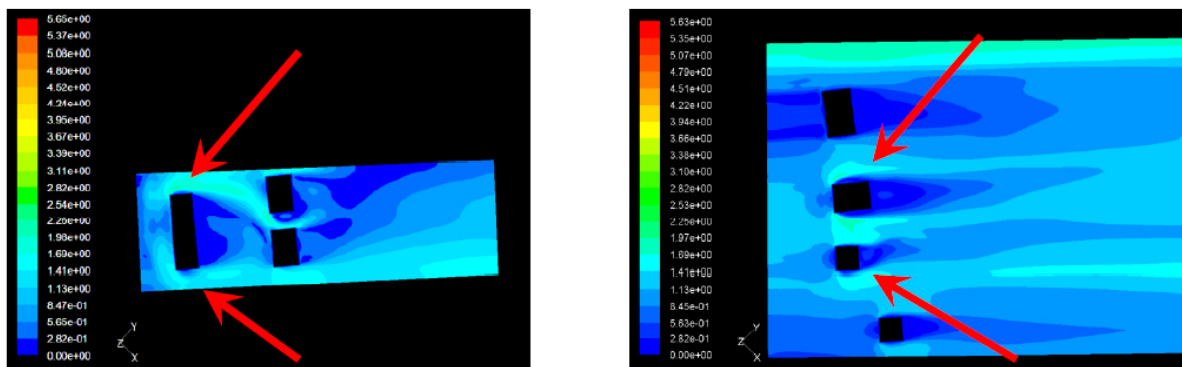


Figure 11 : A gauche, coupe à 1.5m du sol du zoom du quartier de type « semi-mitoyen », révélant de faibles survitesses sur les bords du bâtiment étudié. A droite, coupe à 1.5m du sol du zoom du quartier de type « nappe » illustrant le même phénomène (Fluent).

La pression

La pression sur les parois des bâtiments est liée aux vitesses des vents. Il apparaît clairement que la face exposée au vent est en surpression et la face non exposée au vent se trouve en dépression. Ce phénomène est d'autant plus fort que le bâtiment est isolé. Cela révèle un potentiel pour des constructions selon une architecture bioclimatique de qualité au plus le bâtiment est exposé. Ce qui signifie que dans le cas du quartier de type « ruban », il y a un potentiel à développer une ventilation transversale un peu plus que dans les deux autres cas. Cette considération pourrait inciter à placer une fenêtre sur le côté plus exposé afin de favoriser une bonne ventilation transversale, ce qui remet en question le fait que les faces exposées, sont généralement moins ouvertes. Les pressions exercées sur la paroi exposée du bâtiment étudié dans le quartier de type « ruban » et celle du quartier de type « semi-mitoyen » est environ 3 fois plus importante. Cela renforce l'intérêt de l'étude de l'influence entre le microclimat et les consommations de maisons.

Synthèse

L'analyse en deux phases du microclimat a permis une étude à deux échelles des quartiers : l'échelle du quartier et celle de l'habitat. Il a également été possible de lier ces deux phases par l'emploi de données de la première à la seconde. Malgré qu'on ne relève pas d'inconfort au niveau piétonnier dans aucun des quartiers, il apparaît très clairement que des microclimats locaux se forment dans des quartiers plus denses. Le vent aura tendance à contourner l'obstacle qui dans le cas de quartier dense ne forment qu'un seul obstacle. A contrario, les espaces entre les bâtiments des quartiers périurbains renforcent le potentiel des constructions bioclimatiques de qualité.

3.3. La sélection des maisons-types pour l'analyse des pressions de vent sur les consommations énergétiques

Dans les trois quartiers-types, quelques maisons-types ont été sélectionnées afin de réaliser l'analyse de l'impact des pressions de vent sur les consommations énergétiques. Cette tâche sera réalisée au début de la phase III.

Le quartier de type « ruban »

Les données relatives aux bâtis de ce quartier ne sont pas accessibles. La maison de référence pour ce quartier sera celle du quartier de type « nappe » (rue du Fenouil n°3). L'étude d'une « maison-type » pour plusieurs lieux permettra de comparer de manière plus précise l'impact de la densité des quartiers.

Le quartier de type « semi-mitoyen »

Ce quartier comprend trois types caractéristiques de logements sociaux datant respectivement de 1939, 1953 et 1983 comme l'illustre les trois photos ci-dessous. Ces maisons ne seront pas étudiées dans ce rapport-ci car les documents relatifs à ces bâtiments sont parvenus trop tard ou n'ont pas encore pu être obtenus suite à la lenteur de certaines administrations. Le schéma ci-dessous reprend l'implantation de ces trois maisons-types dans le quartier étudié.

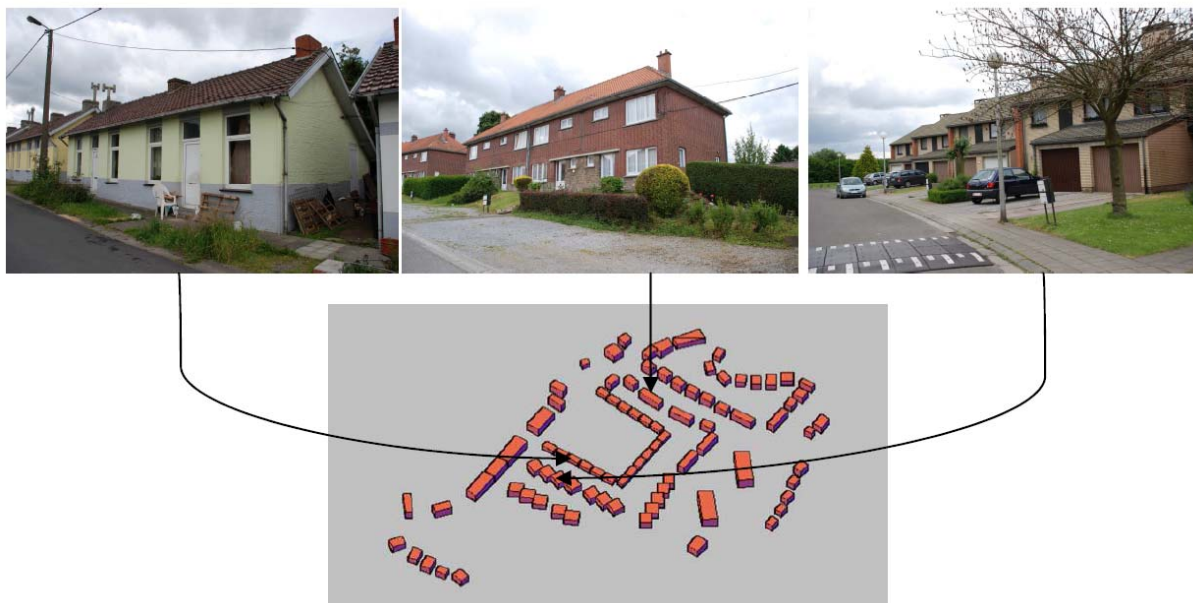


Figure 12 : Le quartier de type « semi-mitoyen »

Le quartier de type « nappe »

Le quartier de type « nappe » comprend essentiellement des maisons de types « quatre façades » car il s'agit d'une zone réservée à des villas ou bungalows. Les façades sont effectuées en matériaux pierreux naturels ou en brique non vernissées et les crépis ou chaulages sont autorisés. Les toitures plates sont interdites. Il existe donc plusieurs sortes de maisons mais nous avons pu constater que les façades en brique sont plus courantes. Deux maisons de ce quartier ont été sélectionnées pour l'étude :

- Rue du Fenouil n°3 : Il s'agit d'une maison « 4 façades » de +/- 118 m² d'emprise au sol, le jardin est orienté au nord-est. La maison comporte une salle de séjour, une cuisine et un bureau et à l'étage, on retrouve 4 chambres et une salle de bain. Le garage est au niveau de la cave.



Figure 13 : La maison du n°3, Rue du Fenouil dans le quartier de type « nappe »

- Rue du Fenouil n°7 : Il s'agit d'une maison « 4 façades » de +/- 79 m² d'emprise au sol (garage compris), le jardin est orienté au nord-est. Cette maison comporte au rez-de-chaussée un séjour, une cuisine et une chambre et à l'étage il y a deux chambres et une salle de bain. Le garage est annexé. Il n'y a pas de cave.



Figure 14 : La maison du n°7, Rue du Fenouil dans le quartier de type « nappe »

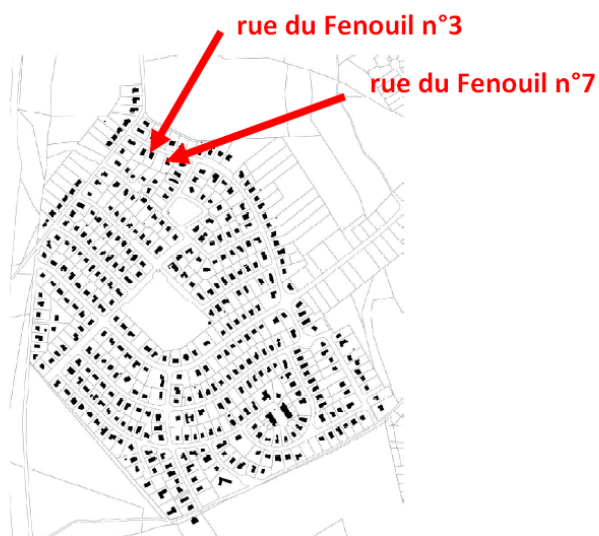


Figure 15 : Localisation des maisons-type sur le plan du quartier de type « nappe »

3.4. Les perspectives pour la phase III

La phase II a permis de relever un ensemble de paramètres qu'il sera intéressant d'étudier plus en profondeur pour mieux maîtriser leur impact sur les différents quartiers et au niveau des consommations énergétiques. La variation des vitesses de vent à l'entrée ainsi que l'origine des vents mériteront d'être étudiées. La composition des quartiers, leurs densités, les rapports entre avec les bâtiments - pourra également faire l'objet d'une analyse paramétrée. Au niveau du bâtiment, les études paramétrées auront un impact sur les consommations énergétiques du bâtiment qu'il sera intéressant de quantifier. Une recherche au niveau du bâtiment en lui-même découlant de l'influence microclimatique pourra être développée comme le pourcentage de surfaces vitrées en fonction de tel ou tel paramètre, les quantités d'isolation jugées idéales en fonction de tel ou tel paramètre. Les systèmes énergétiques des maisons pourra aussi être envisagé et ce tant au niveau d'une maison en particulier mais également à l'échelle du quartier. D'autres systèmes relatifs aux habitations tels les systèmes de ventilation simple ou double flux qui peuvent être intégrés en rénovation pourront être également envisagés.

4. Les modélisations énergétiques

4.1. L'évaluation du quartier de type « ruban »

4.1.1. Les données de cadrage

Le découpage statistique du quartier de Tintigny est présenté sur la figure suivante (la zone d'étude SAFE est en rouge).



Figure 16 : Zone d'étude du quartier de type « ruban » à Tintigny (en rouge) et délimitation des secteurs statistiques « Haut des Rappes » et « Bellefontaine centre »

Le secteur statistique « Haut des Rappes » couvre la partie de notre zone d'étude qui s'étend sur l'ancienne commune de Tintigny. Si on compare les données de ce secteur avec la situation actuelle (PLI et relevé sur terrain), on constate que 6 maisons ont été construites après la date du relevé statistique. On actualise les données statistiques par règle de trois. La partie de notre zone d'étude implantée sur Bellefontaine fait quant à elle partie du secteur statistique « Bellefontaine centre » qui est nettement plus étendu et couvre notamment le centre du village. L'approche adoptée ici consiste à utiliser uniquement les données relatives au secteur « Haut des Rappes » puis à étendre, par simple règle de trois, les résultats obtenus aux maisons situées dans notre zone d'étude, sur la commune de Bellefontaine, puisque ces habitations relèvent plus des mêmes dynamiques que le secteur « Haut des Rappes » (lotissement en ruban entre deux centres villageois) plutôt que du secteur « Bellefontaine centre ».

	« Haut des Rappes » ⁷	Correctif ⁸	Partie « Bellefontaine » ⁹	Total
Nombre de maisons	30	6	25	61
Nombre d'habitants	76	15 ¹⁰	63	155
Population active occupée	32	16	66	113

Tableau 4 : Calcul du nombre d'habitants dans la zone d'étude, sur base des données statistiques existantes pour le secteur « Haut des Rappes »

4.1.2. L'évaluation énergétique des bâtiments

L'analyse typologique des maisons du quartier est réalisée sur base d'une visite de site, du plan de localisation informatique de la Région wallonne (PLI) et des données statistiques relatives à la superficie des logements. Elle permet de dégager 5 types de constructions représentatifs de l'ensemble du quartier, au niveau de la forme, du volume et de la superficie. A chacun de ces 5 types sont attribués les 3 périodes de construction caractéristiques (déterminées dans le chapitre 2.3.2 : « de 1960 à 1981 », « de 1981 à 1995 » et « après 1996 »), on obtient par combinaison une série de 15 variantes à modéliser :

- Maison de plain-pied de 80m² construite entre 1960 et 1980 ;
- Maison de plain-pied de 80m² construite entre 1981 et 1995 ;
- Maison de plain-pied de 80m² construite après 1996 ;
- Maison de plain-pied de 100m² construite entre 1960 et 1980 ;
- Maison de plain-pied de 100m² construite entre 1981 et 1995 ;
- Maison de plain-pied de 100m² construite après 1996 ;
- Maison R+1 sous combles de 100m² construite entre 1960 et 1980 ;
- Maison R+1 sous combles de 100m² construite entre 1981 et 1995 ;
- Maison R+1 sous combles de 100m² construite après 1996 ;
- Maison R+1 sous combles de 120m² construite entre 1960 et 1980 ;
- Maison R+1 sous combles de 120m² construite entre 1981 et 1995 ;
- Maison R+1 sous combles de 120m² construite après 1996 ;
- Maison R+1 sous combles de 150m² construite entre 1960 et 1980 ;
- Maison R+1 sous combles de 150m² construite entre 1981 et 1995 ;
- Maison R+1 sous combles de 150m² construite après 1996.

L'influence de l'orientation et des masques lointains sur les besoins en chauffage, via la diminution de l'ensoleillement reçu par les façades, ont été testés au cas par cas. Les maisons implantées d'un même côté de la voirie sont supposées avoir la même orientation. Les résultats obtenus sont considérés équivalents pour les maisons situées du côté opposé (uniquement sur la

⁷ Données statistiques pour le secteur « Haut des Rappes »

⁸ Correction de l'évolution depuis la réalisation de l'enquête statistique

⁹ Données extrapolées pour la partie du secteur « Bellefontaine » qui se trouve dans la zone d'étude

¹⁰ Les chiffres en italique sont extrapolés sur base des données statistiques pour le secteur « Haut des Rappes »

partie Bellefontaine) puisque les modélisations thermiques montrent une variation des besoins énergétiques très faible (de l'ordre de 1%) entre les deux orientations.

L'effet des masques lointains (la forêt en face de la façade à rue et les voisins de droite et de gauche) est également négligeable : la variation des besoins énergétiques par m² reste inférieure à 1% alors que l'impact en termes de diminution de l'ensoleillement reçu par les façades atteint quand même 11%. Ceci s'explique aisément par le faible pourcentage vitré des façades « masquées » : la façade à rue, qui subit l'impact de la forêt, comprend en général une porte d'entrée opaque, une porte de garage opaque et une seule fenêtre. Les fenêtres latérales, qui ont pour masque à l'ensoleillement les maisons voisines, présentent également un pourcentage vitré assez faible. De plus, les masques sont simplement des maisons voisines qui présentent un gabarit faible, sans aucune comparaison, par exemple, avec les masques que l'on trouve traditionnellement en tissu urbain.

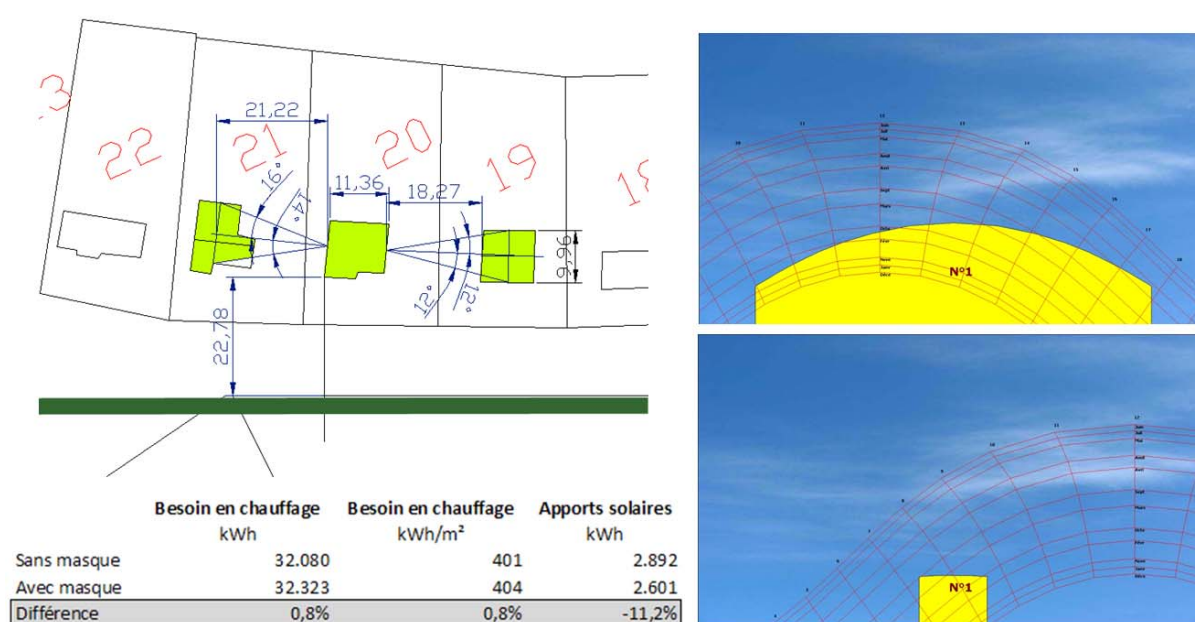


Figure 17 : Test de l'impact des masques (forêt et maisons voisines) pour une habitation du quartier de type « ruban ». Les deux figures de droite représentent l'impact de la forêt (en haut) et d'une maison voisine (en bas) sur deux façades de la maison testée. Les traits rouges représentent la course du soleil sur ces deux façades. Le tableau, en bas à gauche, donne la diminution des besoins en chauffage et des apports solaires pour la maison testée, avec et sans les masques.

Chacune des 15 variantes-types déterminées lors de l'analyse typologique est ensuite simulée dans les logiciels Alcyone et Pleiades+Comfie de façon à obtenir, pour chacune et compte tenu des hypothèses générales mentionnées dans le chapitre.2.3.2, les besoins énergétiques en kWh/m².an. Les résultats des simulations thermiques, pour chaque type de maison, sont synthétisés dans le tableau suivant.

Volume	Superficie	Année de construction		
		Avant 1981	1981 – 1996	Après 1996
Plain-pied	80 m ²	401 kWh/m ² .an	131 kWh/m ² .an	104 kWh/m ² .an
Plain-pied	100 m ²	384 kWh/m ² .an	151 kWh/m ² .an	119 kWh/m ² .an

R+1 sous comble	100 m²	303 kWh/m².an	93 kWh/m².an	77 kWh/m².an
R+1 sous comble	120 m²	260 kWh/m².an	95 kWh/m².an	78 kWh/m².an
R+1 sous comble	150 m²	235 kWh/m².an	90 kWh/m².an	76 kWh/m².an

Tableau 5 : Résultats des simulations thermiques dynamiques pour les 15 types déterminés en fonction du volume, de la superficie et de l'année de construction : besoins en chauffage exprimé en kWh/m².an

La répartition des habitations du quartier entre ces 15 types, établie sur base des données cadastrales (année de construction) et des données statistiques (superficie), est la suivante

Volume	Superficie	Année de construction			Total	Total [%]
		Avant 1981	1981 – 1996	Après 1996		
Plain-pied	80 m²	13	0	0	13	21.3 %
Plain-pied	100 m²	7	0	0	7	11.5 %
R+1 sous comble	100 m²	8	6	0	14	23.0 %
R+1 sous comble	120 m²	4	13	0	17	27.9 %
R+1 sous comble	150 m²	0	2	8	10	16.4 %
Total		32	21	8	61	100 %
Total [%]		52.5 %	34.4 %	13.1 %	100 %	

Tableau 6 : Répartition des maisons du quartier par type

En croisant les deux tableaux précédents, on obtient les résultats suivants (consommations en kWh) qui, additionnés, donne la consommation d'énergie des bâtiments pour l'ensemble du quartier.

Volume	Superficie	Année de construction			Total annuel [kWh]	Total [%]
		Avant 1981	1981 – 1996	Après 1996		
Plain-pied	80 m²	417.040 kWh	-	-	417.040 kWh	30.3 %
Plain-pied	100 m²	268.800 kWh	-	-	268.800 kWh	19.5 %
R+1 sous comble	100 m²	242.400 kWh	55.800 kWh	-	298.200 kWh	21.7%
R+1 sous comble	120 m²	124.800 kWh	148.200 kWh	-	273.000 kWh	19.9 %
R+1 sous comble	150 m²	-	27.000 kWh	91.200 kWh	118.200 kWh	8.6 %
Total annuel [kWh]		1.053.040 kWh	231.000 kWh	91.200 kWh	1.375.240 kWh	100 %
Total [%]		76.6 %	16.8 %	6.6 %	100 %	

Tableau 7 : Besoins en chauffage pour l'ensemble du quartier de type « ruban »

On remarque logiquement que les habitations non isolées pèsent le plus lourd dans le bilan énergétique global (76% du bilan énergétique alors qu'elles ne représentent que 52% des constructions). Les besoins énergétiques globaux des bâtiments à l'échelle du quartier peuvent finalement être ramenés au m² chauffé, à la maison et à l'habitant.

Moyennes quartier de type « ruban »		
Superficie chauffée totale	6.680	m²
Besoin énergétique total des bâtiments /m².an	206	kWh/m².an
Besoin énergétique total des bâtiments /maison.an	22.545	kWh/maison.an
Besoin énergétique total des bâtiments/habitant.an	8.899	kWh/habitant.an

Tableau 8 : Synthèse des besoins en chauffage, ramenés au m², à la maison et à l'habitant.

4.1.1. L'évaluation énergétique des transports

Les déplacements domicile-travail

L'application de la méthode présentée au chapitre 2.5.1, en sachant que la population active occupée dans le quartier s'élève à 65 personnes permet, dans un premier temps, de déterminer le nombre de trajets simples effectués en un an.

Temps de travail	< 10H	10 - 19H	20 - 29H	30 - 39H	> 40H	Total
	0,0 %	3,2 %	6,5 %	64,5 %	25,8 %	100,0 %
Nb personne / classe	0	4	7	73	29	113
Nombre de trajets par an pour 1 pers.	96	192	336	432	480	
Nombre de trajets totaux par an à l'échelle du quartier	0	403	1.410	18.135	8.060	28.008

Tableau 9 : Nombre de trajets simples « domicile-travail » par an pour le quartier de type « ruban »

Ces trajets sont ensuite ventilés par mode. Les déplacements en modes doux ne consomment pas d'énergie. Les déplacements en moto, très peu nombreux, sont négligés.

	Auto	Bus	Train	Moto	Modes doux	Total
Répartition modale	72.1 %	12.9 %	4.3 %	0 %	10.7 %	100 %
Nombre de trajets par mode par an	20.206	3.601	1.200	0	3.001	25.007 (3.001)

Tableau 10 : Nombre de trajets « domicile-travail » par mode pour le quartier de type « ruban »

Les modes doux (pas de consommation) et les motos (pas de trajet) sont supprimés de l'évaluation et les trajets en voiture, en bus et en train sont ventilés selon la distance parcourue. Une correction est appliquée aux courts trajets en train et aux longs trajets en bus,

conformément au chapitre 2.5.1.

[km]	< 3 km	3-5km	5-10km	10-20km	20-30km	30-50km	50-70km	>70km	Total
Dst. moyenne /classe	1,5 km	4 km	7,5 km	15 km	25 km	40 km	60 km	80 km	
Trajets en auto	748 tr	1497 tr	1.497 tr	5.987 tr	5.239 tr	2.993 tr	1.497 tr	748 tr	20.206 tr
Trajets en TEC	133 tr	267 tr	267 tr	1.067 tr	1934 tr	533 tr	267 tr	133 tr	2.667 tr
Trajets en Tec corrigés	178 tr	356 tr	267 tr	1.067 tr	1.934 tr	0 tr	0 tr	0 tr	2.801 tr
Trajets en train	44 tr	89 tr	89 tr	356 tr	311 tr	178 tr	89 tr	44 tr	978 tr
Trajets en train corrigés	0 tr	0 tr	89 tr	356 tr	311 tr	711 tr	356 tr	178 tr	2.001 tr
Total									25.007 tr

Tableau 11 : Nombre de trajets « domicile-travail » par classe de km pour le quartier de type « ruban »

On obtient ensuite les distances totales parcourues sur un an pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle du quartier. On considère ensuite que les 2.001 trajets annuels réalisés entre le domicile et la gare de Marbehan (8 km du quartier) sont effectués uniquement en voiture. Cette hypothèse se justifie par la distance au quartier (trop pour le vélo) et le faible service des transports en commun entre le quartier et la gare de Marbehan. (Par exemple, pour arriver à la gare de Marbehan vers 8 heures du matin, il faut prendre deux bus successivement, pour un temps de trajet total de près d'une heure jusqu'à la gare). On répartit alors les 16.004 kilomètres annuels effectués entre le quartier et la gare sur la voiture (55% diesel et 45% essence).

En appliquant les facteurs définis dans notre méthode et en sommant les résultats obtenus pour chaque mode, on obtient la consommation énergétique totale du quartier pour les déplacements domicile-travail.

	Nombre de km / an	Consommation annuelle	%
Auto (principal)	508.512,9 km/an	314.789 kWh	83,6 %
Auto (gare)	16.004,6 km/an	9.907 kWh	2,6 %
Bus	43.034,6 km/an	21.429 kWh	5,7 %
Train	77.800,1 km/an	30.256 kWh	8,0 %
Total	645.352,2 km/an	376.381 kWh	100,0 %
Par travailleurs	9.928 km/an	5.790 kWh	

Tableau 12 : Kilomètres parcourus et consommations annuelles (en Kwh) des déplacements « domicile-travail », par mode de transport pour le quartier de type « ruban »

Les déplacements scolaires

La population scolaire du quartier s'élève à 22 étudiants. On considère 10 trajets simples par semaine par étudiants, soit 8.052 trajets simples sur l'année (en considérant 36 semaines de cours) pour l'ensemble de la population scolaire du quartier, ventilés par mode comme suit :

Auto	Bus	Train	Moto	Modes doux	Total
6.587 tr	732 tr	293 tr	0-tr	0-tr	8.051 tr
81,8 %	9,1 %	9,1 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %

Tableau 13 : Répartition des trajets scolaires par mode pour le quartier de type « ruban »

On applique ensuite la suite de la méthode présentée (répartir les trajets par distance, corriger le biais des transports en commun, prendre en compte les trajets du domicile à la gare, appliquer les facteurs de consommation à chaque mode) pour obtenir les résultats suivants :

	Nombre de km / an	Consommation annuelle	%
Auto (principal)	70.475,9 km/an	43.627 kWh	82,1 %
Auto (gare)	4.103,3 km/an	2.540 kWh	4,8 %
Bus	8.162,1 km/an	4.064 kWh	7,6 %
Train	7.510,0 km/an	2.921 kWh	5,5 %
Total	90.251,9 km/an	53.152 kWh	100,0 %

Tableau 14 : Kilomètres parcourus et consommations annuels pour les déplacements scolaires, pour le quartier de type « ruban »

4.1.2. L'évaluation énergétique du réseau d'éclairage public

L'application de la méthode présentée au chapitre 2.6 permet d'évaluer la consommation du réseau d'éclairage public du quartier, en phase d'utilisation.

Nombre de points lumineux	15	Unités
Type de lampe	Sodium basse pression	
Puissance d'une lampe	51	Watts
Ballast	1.26	(26 %)
Nombre d'heures de fonctionnement annuel	4100	heures
Puissance consommée annuellement :		
	3.952	kWh

Tableau 15 : Evaluation des consommations de l'éclairage public pour le quartier de type « ruban »

4.1.3. Synthèse

Pour rappel, les consommations relatives au transport des personnes ne comprend, à l'heure actuelle, que les trajets domicile-travail et les déplacements scolaires (y compris les trajets pour se rendre à la gare si le mode de transport principal est le train) et ne concernent donc qu'une partie des motifs de déplacements (travail et école) et une partie de la population (population active occupée et étudiants qui représentent respectivement 42,2% et 15,4% de la population totale du quartier).

	Consommations annuelles totales	%	Consommation annuelle par maison	Consommation annuelle par habitant
Energie bâtiment	1.375.240 kWh	76 %	22.544,9 kWh	8.872,5 kWh
Transport travail	376.381 kWh	20.7 %	6.170,2 kWh	2.428,3 kWh
Transport scolaire	53.152 kWh	2,9 %	871,4 kWh	342,9 kWh
Eclairage public	3.952 kWh	0.2 %	64,8 kWh	25,5 kWh
Total	1.814.896 kWh	100 %	29.651,2 kWh	11.669,2 kWh

Tableau 16 : Tableau récapitulatif de l'évaluation énergétique du quartier de type « ruban »

4.2. L'évaluation du quartier de type « semi-mitoyen »

4.2.1. Les données de cadrage

Le découpage statistique du quartier de la cité Chavée est présenté sur la figure suivante. Dans le cas présent, le quartier statistique INS dépasse largement la zone soumise à notre recherche. Le bâti constituant le quartier statistique étant relativement homogène, une règle de trois sera réalisée pour ramener ces données au nombre d'habitants concernés par la recherche SAFE.

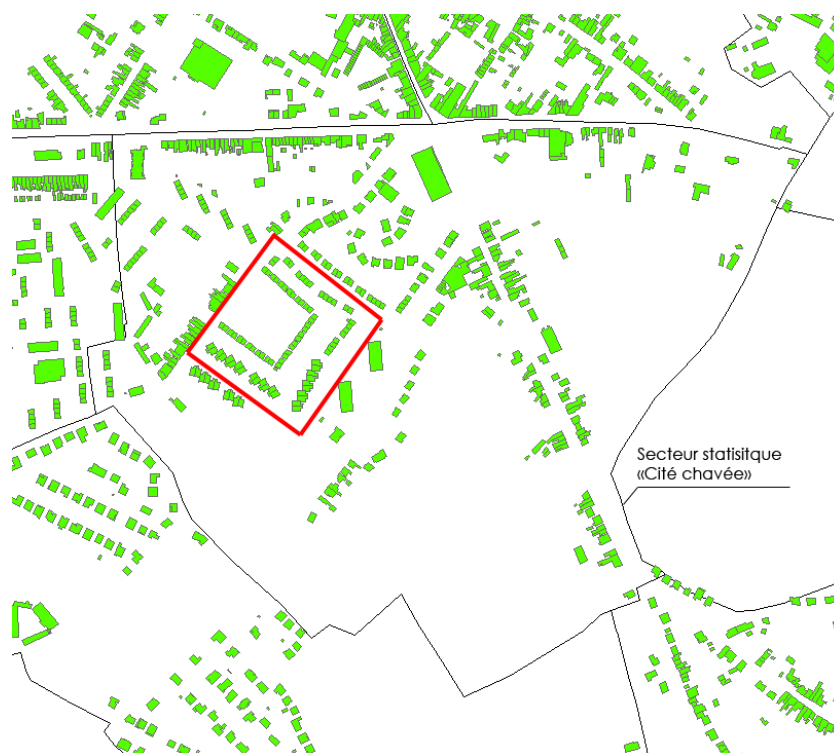


Figure 18 : Zone d'étude du quartier de type « semi-mitoyen » à Fontaine-L-Evêque et délimitation du secteur statistique « Cité Chavée »

4.2.2. L'évaluation énergétique des bâtiments

L'analyse typologique du quartier de type « semi-mitoyen » est relativement simple dans le sens où le quartier est composé de 3 types d'habitations, construites par lots, pour le compte du CPAS et de la société de logements sociaux, le foyer fontainois.



Figure 19 : Les 3 types de bâtiments du quartier de type « semi-mitoyen » : la Cité Chavée (A) à gauche, les bâtiments (B) du foyer fontainois construits en 1953 au milieu et ceux construits en 1983 (C), à droite.

Les bâtiments de la cité Chavée (type A) peuvent présenter trois orientations différentes. Les deux autres bâtiments (type B et C) présentent chacun deux orientations différentes. On obtient donc au total une série de 7 types à modéliser. Remarquons ici que les opérations de rénovation du bâti en cours ne sont pas considérées ici mais feront l'objet des variations paramétrées de la phase III. Les masques pris en compte dans les simulations thermiques dynamiques qui donnent les besoins en chauffage pour chaque type (Tableau 17) sont les bâtiments voisins pour tous les types, et le talus à l'arrière des maisons de la cité Chavée.

Type	Orientation	Superficie [m²]	Nombre	Consommation [kWh/m².an]	Nom de la variante
Chavée (A)	NE	46 m²	12	319 kWh/m².an	A1
Chavée (A)	NO	46 m²	12	318 kWh/m².an	A2
Chavée(A)	SO	46 m²	12	315 kWh/m².an	A3
Rouge (B)	NE	136 m²	14	264 kWh/m².an	B1
Rouge (B)	SE	136* m²	8	262 kWh/m².an	B2
Jaune (C)	E	140 m²	10	84 kWh/m².an	C1
Jaune (C)	O	140 m²	14	84 kWh/m².an	C2

Tableau 17 : Répartition des habitations du quartier de type « semi-mitoyen » par type et évaluation des besoins en chauffage (en kWh/m².an)

En multipliant les besoins en chauffage obtenus lors des simulations thermiques dynamiques par le nombre de m² d'une habitation et par le nombre d'habitations de chaque type, puis en sommant ces résultats, on obtient les besoins énergétiques globaux pour le chauffage des bâtiments du quartier de type « semi-mitoyen ».

Nom de la variante	Somme des besoins en chauffage par variante	Somme des besoins en chauffage par type	% (besoins en chauffage)	Nombre de maisons par type	% (nombre de maisons)
A1	176.088 kWh				
A2	175.536 kWh				

A3	173.880 kWh/an	A : 525.504 kWh/an	32,9 %	36	43,9 %
B1	502.656 kWh/an				
B2	285.056 kWh/an	B : 787.712 kWh/an	49,4 %	22	26,8 %
C1	117.600 kWh/an				
C2	164.640 kWh/an	C : 282.240 kWh/an	17,7 %	24	29,3 %
Total	1.595.456 kWh/an	1.595.456 kWh/an	100 %	82	100 %

Tableau 18 : Besoins énergétiques annuels pour chaque variante et chaque type (A, B, C)

On remarque que les bâtiments de type B sont particulièrement énergivores dans le sens où ils ne représentent que 26,8% des bâtiments du quartier mais pèsent pour près de 50% dans le bilan énergétique. Les bâtiments de la Cité Chavée (type A), bien qu'également non isolé « bénéficient » de leur faible superficie chauffée.

On peut enfin ramener les besoins annuels en chauffage au m², à la maison et à l'habitant.

Moyennes quartier de type « semi-mitoyen »	
Superficie chauffée totale	8.008 m ²
Besoin énergétique total des bâtiments /m ² .an	200 kWh/m ² .an
Besoin énergétique total des bâtiments /maison.an	19.517 kWh/maison.an
Besoin énergétique total des bâtiments/habitant.an	8.213 kWh/habitant.an

Tableau 19 : Synthèse des besoins en chauffage, ramenés au m², à la maison et à l'habitant.

4.2.3. L'évaluation énergétique des transports

Les déplacements domicile-travail

La population active occupée dans le quartier s'élève à 40 personnes. La méthode présentée et appliquée au quartier de type « ruban » est appliquée au quartier de type « semi-mitoyen ». Les détails des calculs ne sont pas repris ici pour ne pas alourdir la lecture du texte mais les feuilles de calcul Excel seront ultérieurement traitées pour proposer un profil utilisateur convivial et être intégrées à l'outil final. Dans le cas présent, et compte tenu de la bonne desserte en transport en commun, on considère que 80% des déplacements du quartier à la gare, lorsque le train est le mode de déplacement principal sont réalisés en bus. 20% sont réalisés en voiture.

	Nombre de km / an	Consommation annuelle	%
Auto (principal)	20.518,5km/an	136.509 kWh	84,1 %
Auto (gare)	1.599,5 km/an	990 kWh	0,6 %
Bus (principal)	14.327,5 km/an	10.320 kWh	6,4 %
Bus (gare)	6.398,1 km/an	3.186	2,0 v
Train	28.876,1km/an	11.230 kWh	6,9 c
Total	271.719,7 km/an	162.235 kWh	100,0 %
Par travailleur	6.793 km/an	4.056 kWh	

Tableau 20 : Kilomètres parcourus et consommations annuelles (en Kwh) des déplacements « domicile-travail », par mode de transport pour le quartier de type « semi-mitoyen »

Les déplacements scolaires

La population scolaire s'élève à 59 étudiants.

	Nombre de km / an	Consommation annuelle	%
Auto (principal)	20.347,6km/an	12.596 kWh	43,6 %
Auto (gare)	447,6 km/an	277 kWh	1 %
Bus (principal)	22.750 km/an	12.220 kWh	42.3 %
Bus (gare)	1.790,3 km/an	891	3.1%
Train	7.394,6 km/an	2.876 kWh	10 %
Total	52.730,1 km/an	28.860 kWh	100,0 %
Par étudiant	894 km/an	490 kWh	

Tableau 21 : Kilomètres parcourus et consommations annuelles (en kWh) pour les déplacements scolaires par mode de transport pour le quartier de type « semi-mitoyen »

4.2.4. L'évaluation énergétique du réseau d'éclairage public

Deux types d'éclairage différents sont employés dans le quartier.

Nombre de points lumineux	8	Unités
Type de lampe	Mercure Haute Pression	
Puissance d'une lampe	171	Watts
Ballast	1.26	(26 %)
Nombre d'heures de fonctionnement annuel	4.100	heures
Sous-total (1)	7.067	kWh
Nombre de points lumineux	15	Unités
Type de lampe	Mercure Basse Pression	
Puissance d'une lampe	35	Watts
Ballast	1.26	(26 %)
Nombre d'heures de fonctionnement annuel	4.100	heures
Sous-total (2)	2.712	kWh
Puissance consommée annuellement :	9.779	kWh

Tableau 22 : Consommations de l'éclairage public pour le quartier de type « semi-mitoyen »

4.2.5. Synthèse

	Consommations annuelles totales	%	Consommation annuelle par maison	Consommation annuelle par habitant
Energie bâtiment	1.600.392 kWh	88,8 %	19.517,0 kWh	8.213,2 kWh
Transport travail	162.235 kWh	9 %	1.978,5 kWh	832,6 kWh
Transport scolaire	28.86 kWh	1,6 %	352,0 kWh	148,1 kWh
Eclairage public	9.779 kWh	0,5 %	119,3 kWh	50,2 kWh
Total	1.801.267 kWh	100 %	21.966,7 kWh	9.244,0 kWh

Tableau 23 : Tableau récapitulatif de l'évaluation énergétique du quartier de type « semi-mitoyen »

4.3. L'évaluation du quartier de type « nappe »

4.3.1. Les données de cadrage

Le découpage du quartier statistique du quartier de Jambes est présenté sur la figure suivante. Le secteur statistique englobe l'entièrement du quartier soumis à l'étude, plus quelques maisons plus anciennes qui seront déduites des analyses.

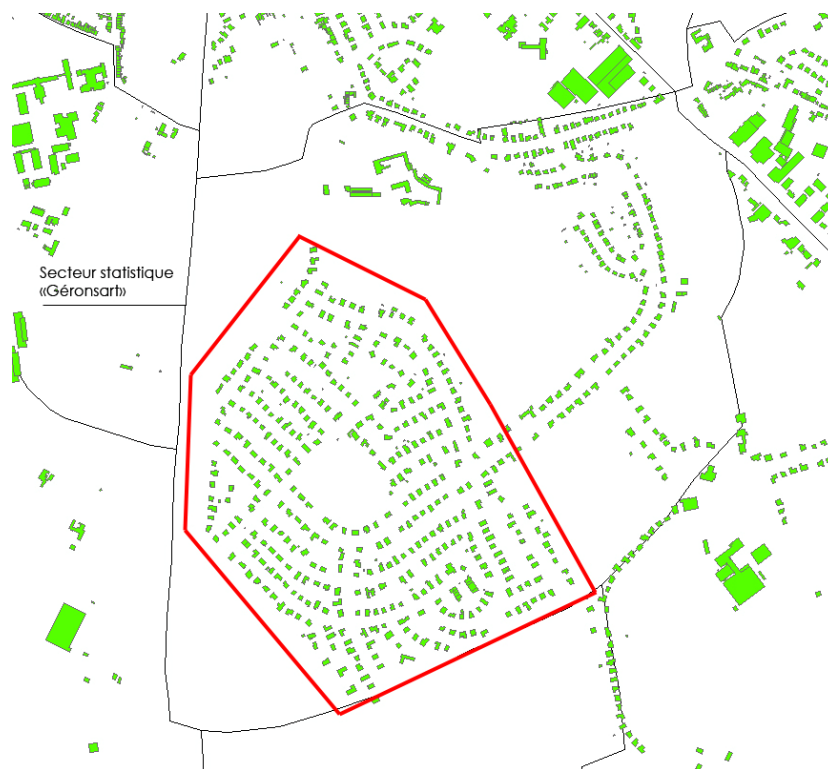


Figure 20 : Zone d'étude du quartier de type « nappe » à Jambes (en rouge) et délimitation du secteur statistique « Géronsart »

4.3.2. L'évaluation énergétique des bâtiments

Le quartier de type « nappe » est un tissu très homogène, constitué d'habitations pavillonnaires, de type « 4 façades ». L'analyse typologique des maisons du quartier fait apparaître 12 types de bâtiments, selon leur superficie et l'époque de construction.

L'impact des masques, constitués des maisons voisines, est testé. L'impact en termes de besoins en chauffage est très limité (moins de 1%) alors que les apports solaires sur les façades diminuent de 11% lorsqu'on prend en compte les masques. Comme dans le cas du quartier de type « ruban », cette particularité s'explique par le peu d'attention porté aux critères bioclimatiques les plus élémentaires, tant dans la conception du lotissement que dans celle des habitations. Les façades ne présentent donc pas un pourcentage de vitrage différent selon l'orientation de la façade. Il n'est ainsi pas rare de trouver une façade « sud » très opaque, si celle-ci est la façade à rue et doit recevoir, la porte d'entrée et celle du garage. Par ailleurs, les masques eux-mêmes sont peu imposants (maisons de gabarit « classique » à un étage sous comble).

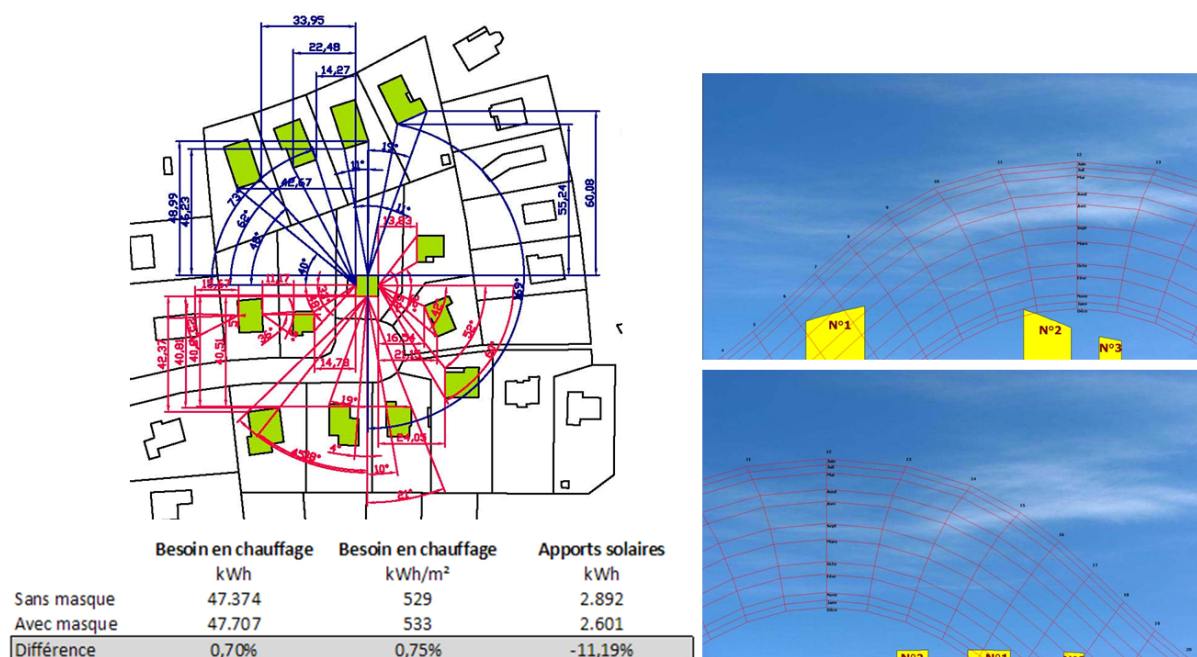


Figure 21 : Test de l'impact des masques sur les besoins en chauffage et les apports solaires d'une maison-type du quartier de type « nappe ». Les images de droite montrent l'influence des masques sur deux façades.

Volume	Superficie	Avant 1981	1981 – 1996	Après 1996	Nom de la variante
Plain-pied	70 m²	401 kWh/m².an	131 kWh/m².an	104 kWh/m².an	A
R+1 sous comble	100 m²	303 kWh/m².an	93 kWh/m².an	77 kWh/m².an	B
R+1 sous comble	120 m²	260 kWh/m².an	95 kWh/m².an	78 kWh/m².an	C
R+1 sous comble	150 m²	235 kWh/m².an	90 kWh/m².an	76 kWh/m².an	D

Tableau 24 : Résultats des simulations thermiques dynamiques pour les 12 types de bâtiments identifiés dans le quartier de type « nappe »

En agrégeant ces valeurs au prorata de la répartition des types de bâtiments dans le quartier, on obtient les résultats suivants pour le quartier de type « nappe ».

	Type A	Type B	Type C	Type D	Total	%
Avant 1981	1.207.010kWh	1.515.000kWh	811.200 kWh	-	3.533.210kWh	55,6 %
1981-1995	348.460 kWh	390.600 kWh	342.000 kWh	540.000 kWh	1.621.060kWh	25,5 %
Après 1996	-	323.400 kWh	346.320 kWh	535.800 kWh	1.205.520kWh	19,0 %
Total par type	1.555.470 kWh	2.229.000 kWh	1.499.520kWh	1.075.800kWh	6.359.790kWh	100 %
%	24,5 %	35,0 %	23,6 %	16,9 %	100 %	

Tableau 25 : Agrégation des résultats des simulations thermiques dynamiques, par type (kWh/an)

Moyennes quartier de type « ruban »		
Superficie chauffée totale	43.280	m²
Besoin énergétique total des bâtiments /m².an	147	kWh/m².an
Besoin énergétique total des bâtiments /maison.an	16.101	kWh/maison.an
Besoin énergétique total des bâtiments/habitant.an	5.681	kWh/habitant.an

Tableau 26 : Synthèse des besoins en chauffage, ramenés au m², à la maison et à l'habitant

4.3.3. L'évaluation énergétique des transports

Les déplacements domicile – travail

La population active occupée du quartier s'élève à 465 travailleurs. La gare la plus proche est celle de Namur, à 6 kilomètres. On considère que, quand le train est le mode de déplacement principal, les trajets jusque la gare sont réalisés à 50% en voiture, 30% en bus et 20% en modes doux (vélos).

	Nombre de km / an	Consommation annuelle	%
Auto (principal)	2.751.903,8 km/an	1.703.532 kWh	78,9 %
Auto (gare)	67.060,6 km/an	41.513 kWh	1,9 %
Bus (principal)	165.675,6 km/an	82.499,1 kWh	3,8 %
Bus (gare)	40.236,3 km/an	20.035,9 kWh	1,0 %
Train	798.124,8 km/an	310.381 kWh	14,4 %
Total	3.823.001,2 km/an	2.157.961 kWh	100,0 %
Par travailleur	8.221,5 km/an	4.645,7 kWh	

Tableau 27 : Kilomètres parcourus et consommations annuelles (en Kwh) des déplacements « domicile-travail », par mode de transport pour le quartier de type « nappe »

Les déplacements scolaires

La population scolaire s'élève à 319 étudiants.

	Nombre de km / an	Consommation annuelle	%
Auto (principal)	359.453,9/an	225.515 kWh	78,6 %
Auto (gare)	4.056,0 km/an	2.511 kWh	0,9 %
Bus (principal)	86.919,8 km/an	43.282 kWh	15,3 %
Bus (gare)	1.825,2 km/an	1.212 kWh	0,4%
Train	35.206,4 km/an	13.691 kWh	4,8 %
Total	488.069,7 km/an	283.212 kWh	100,0 %
Par étudiant	1.529,9 km/an	888,3 kWh	

4.3.4. L'évaluation énergétique du réseau d'éclairage public

Nombre de points lumineux	140	Unités
Type de lampe	Sodium haute pression	
Puissance d'une lampe	172	Watts

Ballast	1.26	(26 %)
Nombre d'heures de fonctionnement annuel	4100	heures
Puissance consommée annuellement :	124.397	kWh

Tableau 28 : Evaluation des consommations de l'éclairage public pour le quartier de type « nappe »

4.3.5. Synthèse

	Consommations annuelles totales	%	Consommation annuelle par maison	Consommation annuelle par habitant
Energie bâtiment	6.359.790 kWh	71,3 %	16.100,7 kWh	5.680,9 kWh
Transport travail	2.157.961 kWh	24,2 %	5.463,2 kWh	1.927,6 kWh
Transport scolaire	283.212 kWh	3,2 %	717,0 kWh	253,0 kWh
Eclairage public	124.397 kWh	1,4 %	314,9 kWh	111,1 kWh
Total	8.925.360 kWh	100 %	22.595,8 kWh	7.972,6 kWh

Tableau 29 : Tableau récapitulatif de l'évaluation énergétique du quartier de type « nappe »

4.4. L'évaluation du quartier de type « mixte »

4.4.1. Les données de cadrage

Le quartier de type « mixte » se situe sur deux quartiers statistiques. Le principe de la règle de 3 sera adopté pour ramener les données statistiques au quartier qui fait l'objet de la recherche. On suppose donc que le comportement des habitants du quartier de type « mixte » soumis à l'étude est identique à celui des habitants des deux quartiers statistiques, ce semble cohérent.



Figure 22 : Zone d'étude du quartier de type « mixte » à Rotheux (en rouge) et délimitation des secteurs statistiques « Rotheux-Rimère centre » et « Bon-Ri »

4.4.2. L'évaluation énergétique des bâtiments

L'évaluation énergétique des bâtiments du quartier de type « semi-mitoyen » n'est pas encore réalisée. Elle présente une complexité plus grande que les trois cas précédemment traité dans le sens où on y rencontre une plus grande mixité du bâti tant en termes de formes que de fonctions. La classification typologique et surtout les simulations thermiques dynamiques de chacun des types mis en évidence sont donc beaucoup plus lourdes. Pour rappel, la convention de la recherche SAFE ne stipulait l'évaluation que de 3 types de quartiers périurbains. L'évaluation du quartier de type « mixte » devrait toutefois être réalisée lors de la prochaine phase de travail et venir enrichir la réflexion.

4.4.3. L'évaluation énergétique des transports

Les déplacements domicile-travail

La population active et occupée du quartier s'élève à 57 travailleurs. Pour les déplacements en train, le trajet jusque la gare la plus proche, celle de Liège-Guillemins, située à 16 kilomètres, sont supposés être réalisés pour 80% en voiture et pour 20% en bus, compte tenu de la faible desserte du quartier en transports en commun.

	Nombre de km / an	Consommation annuelle	%
Auto (principal)	369.337,9 km/an	228.634 kWh	83,3 %
Auto (gare)	16.491,3km/an	10.209 kWh	3,7 %
Bus (principal)	34.531,5 km/an	17.195kWh	7,0 %
Bus (gare)	7.421,1 km/an	2.053 kWh	6,0 %
Train	42.310,6 km/an	16.454 kWh	6,0 %
Total	466.794,1 km/an	274.545 kWh	100,0 %
Par travailleur	8.131,0 km/an	4.782 kWh	

Tableau 30 : Kilomètres parcourus et consommations annuelles (en Kwh) des déplacements « domicile-travail », par mode de transport pour le quartier de type « mixte »

Les déplacements scolaires

La population scolaire s'élève à 28 étudiants et les résultats de l'application de la méthode pour le quartier de type « mixte » sont les suivants.

	Nombre de km / an	Consommation annuelle	%
Auto (principal)	82.895,2 km/an	51.315 kWh	85,4 %
Auto (gare)	1.683,5 km/an	1.042 kWh	1,7 %
Bus (principal)	11.636,2 km/an	5.794,3 kWh	9,6 %
Bus (gare)	420,9km/an	209,6 kWh	0,4%
Train	4.372,0km/an	1.700 kWh	2,8 %
Total	101.007,8 km/an	60.062 kWh	100,0 %
Par étudiant	3.607,4 km/an	2.152 kWh	

Tableau 31 : Kilomètres parcourus et consommations annuelles (en KWh) pour les déplacements scolaires par mode de transport pour le quartier de type « mixte »

4.4.4. L'évaluation énergétique du réseau d'éclairage public

Nombre de points lumineux	34	Unités
Type de lampe	Sodium basse pression	
Puissance d'une lampe	51	Watts
Ballast	1.26	(26 %)
Nombre d'heures de fonctionnement annuel	4100	heures
Puissance consommée annuellement :	8.958	kWh

Tableau 32 : Evaluation des consommations de l'éclairage public pour le quartier de type « mixte »

4.4.5. Synthèse

	Consommations annuelles totales	%	Consommation annuelle / maison	Consommation annuelle / habitant
Energie bâtiment	-	-	-	-
Transport travail	274.545 kWh	-	4.428,1 kWh	1.812,8 kWh
Transport scolaire	60.062 kWh	-	968,7 kWh	396,6 kWh
Eclairage public	8.958 kWh	-	144,5 kWh	59,1 kWh
Total	-	-	-	-

Tableau 33 : Tableau récapitulatif de l'évaluation énergétique du quartier de type « mixte »

4.5. L'analyse de cycle de vie

Une analyse en cycle de vie est réalisée pour quelques bâtiments-types des 4 quartiers étudiés, avec le logiciel EQUER. Trois variantes sont testées pour chaque cas et correspondent aux caractéristiques constructives attribuées pour chacune des trois périodes de construction utilisées : une variante sans isolation, une variante avec une isolation légère dans les murs, toitures et dalles de sol et une variante avec isolation standard.

	1960- 1981 ¹¹	1981 – 1996	Après 1996
Type d'isolation	Extérieure	Extérieure	Extérieure
Isolation mur	Aucune	3 cm de PUR	6 cm de PUR
Isolation dalle de sol	Aucune	3 cm de PUR	6 cm de PUR
Isolation toiture	Aucune	8 cm de laine minérale	10 cm de laine minérale
Type de vitrage	Double vitrage	Double vitrage	Double vitrage
U des vitrages	2,96 W/m².K	2,76 W/m².K	2,76 W/m².K
Ponts thermiques	Par défaut ¹²	Par défaut	Par défaut

Tableau 34 : Rappel des caractéristiques constructives pour les 3 variantes

¹¹ La plupart des bâtiments construits dans les quartiers choisis sont construits après 1960. La seule exception est la cité Chavée (Type 2) qui est construite en 1930. Pour ces bâtiments, nous utiliserons un simple vitrage.

¹² Le logiciel Pleiades+Comfie permet de prendre en compte les ponts thermiques par défaut, ce qui permet de simplifier l'analyse. C'est une méthode simplifiée. Les linéiques pris en compte sont les périmètres de plancher avec un coefficient k égal à 0,7.

Maison « 4 façades », Rez + un étage sous comble

Des analyses de cycle de vie ont été réalisées pour plusieurs maisons de type « 4 façades », de superficie variable. Les résultats de l'analyse de cycle de vie sont fort semblables pour chacun des cas testés. Nous ne présenterons donc ici qu'un de ces cas-types. Les calculs et résultats présentés sont relatifs à une maison rez + un étage sous comble, de 120 m².

On voit que la phase d'utilisation est, de loin, celle qui présente les consommations énergétiques les plus importantes en cycle de vie, et ce, quelque soit la variante testée (sans isolation, avec isolation légère ou avec isolation standard), avec une légère tendance à la baisse si l'isolation augmente (97,9% du bilan global pour la variante sans isolation, 96,5% pour la variante avec isolation légère et 95,9% pour la variante avec isolation standard).

Le passage d'une variante non isolée à une variante isolée légèrement permet un gain de 38,8% d'énergie sur la phase d'utilisation. La variante isolée présente respectivement des gains énergétiques, en phase d'utilisation, de 46,8% et 12,8% sur les variantes sans isolation et avec isolation légère.

En ce qui concerne la phase de construction, qui représente respectivement 1,7%, 2,9% et 3,4% des bilans totaux des variantes sans isolant, isolée légèrement et isolée de façon standard, la relation est inversée. La version isolée présente des consommations énergétiques en phase de construction (liées à la présence du matériau isolant) de 6,3% supérieure à la variante sans isolant (différence de 2,4% entre variantes avec isolation standard et isolation légère). En phase de démolition (impact compris entre 0,1 et 0,2% du bilan global selon la variante, en ce qui concerne la consommation d'énergie), les différences entre variantes sont très faibles (de l'ordre de 0,1%).

Le tableau suivant reprend les consommations énergétiques relatives aux quatre phases du cycle de vie du bâtiment, calculées par le logiciel EQUER. Le premier graphique compare l'influence de chacune des 4 phases pour les trois variantes testées (sans isolation, isolation légère et isolation standard) et le second graphique montre les gains énergétiques engendrés, en phase d'utilisation et de construction par une meilleure isolation du bâtiment. La Figure 23 exprime les mêmes résultats sous forme graphique.

	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Sans isolation	207,46 GJ	11703,73 GJ	32,14 GJ	14,48 GJ	11957,8 GJ
Isolation légère	215,93 GJ	7161,94 GJ	32,14 GJ	14,51 GJ	7424,5 GJ
Isolation standard	221,35 GJ	6248,38 GJ	32,14 GJ	14,53 GJ	6516,4 GJ

Tableau 35 : Comparaison de l'impact des 4 phases du cycle de vie, pour les 3 variantes (sans isolation, avec isolation légère, avec isolation standard)

Consommation d'énergie par phase pour 3 variantes d'isolation

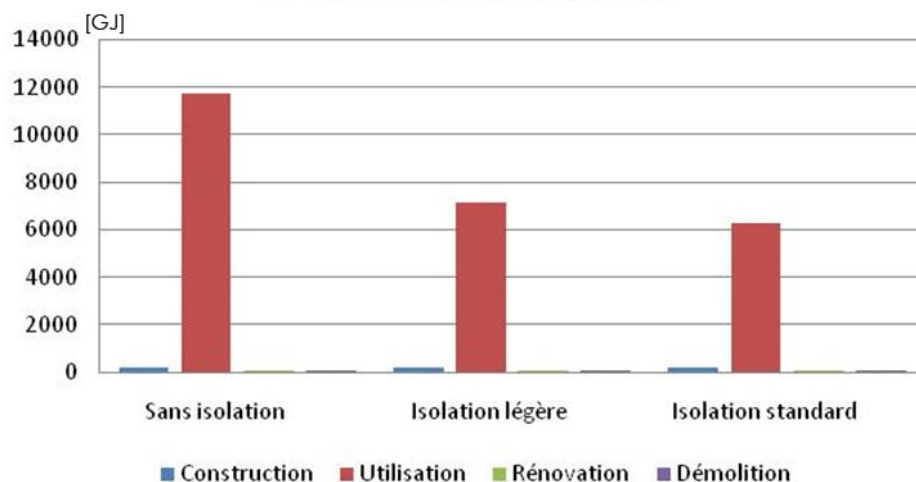


Figure 23 : Consommation d'énergie pour les 4 phases du cycle de vie des 3 variantes étudiées (sans isolation, avec isolation légère, avec isolation standard).

Si on étudie l'impact des trois variantes sur les autres indicateurs environnementaux calculés par le logiciel EQUER, on remarque que la réduction de l'effet de serre (en tonnes de CO₂) est également significative entre les variantes isolées et la variante non isolée. L'écart entre variante faiblement isolée et variante isolée de façon standard est plus limitée. Le diagramme radar montre ainsi que l'influence des premiers centimètres d'isolant est primordiale et que le gain engendré par les centimètres suivants est plus réduit, et ce pour l'ensemble des 12 indicateurs environnementaux.

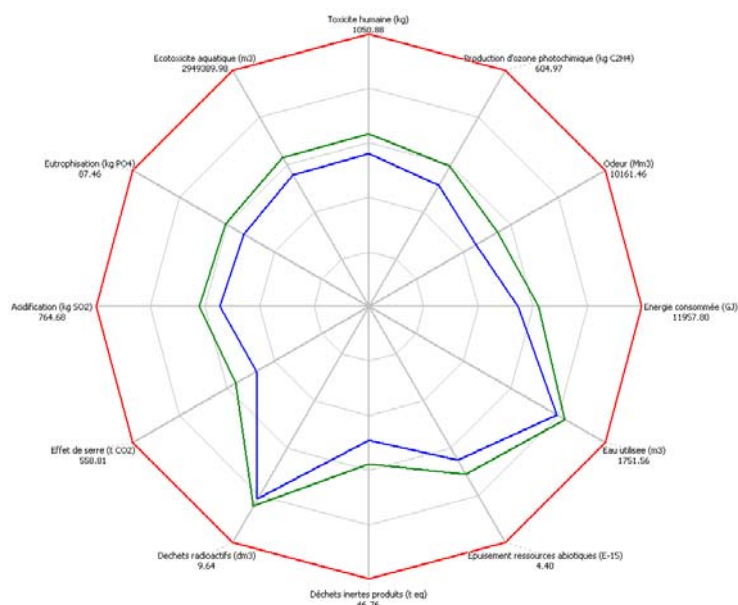


Figure 24 : Diagramme radar présentant l'impact des 3 variantes (sans isolation en rouge, avec isolation légère en vert et avec isolation standard en bleu) sur les 12 indicateurs environnementaux d'EQUER.

Maison mitoyenne

Une analyse de cycle de vie sera réalisée pour une / plusieurs maisons mitoyennes et semi-mitoyennes qui composent le quartier de type « semi-mitoyen ». Ces analyses seront réalisées quand nous aurons pu prendre connaissance des projets de rénovation en cours (contacts en cours avec le CPAS et le foyer fontainois mais délais importants).

Synthèse de l'analyse en cycle de vie

L'analyse en cycle de vie de quelques maisons de type « 4 façades » des quartiers périurbains wallons montre que l'impact de la phase d'utilisation est très important, ce qui tend à avancer que la priorité devrait donc être donnée aux économies de flux (énergie, eau, déchets) plutôt qu'à l'utilisation de matériaux à moindre impact. Toutefois, les analyses actuelles n'ont été réalisées que pour une durée de vie de 80 ans. Dans la phase III de la recherche, qui traite des variations paramétrées, et dans la phase IV surtout, qui consiste à évaluer différents scénarios de rénovation, des analyses de cycle de vie seront réalisées pour des durées de vie plus courtes de façon notamment à comparer rénovation et démolition / reconstruction.

5. La comparaison entre quartiers

Ce dernier chapitre de la phase II, reprend thème par thème les principaux résultats obtenus pour les 4 quartiers testés, en l'état actuel, puis l'impact des différents thèmes sur le bilan global des quartiers, afin d'en tirer des premières conclusions sur la situation des tissus périurbains wallons, du point de vue des consommations énergétiques globales.

5.1. L'énergie des bâtiments

L'indicateur le plus adapté pour comparer les besoins énergétiques des quartiers est le besoin annuel d'énergie pour le chauffage des bâtiments, ramenés à un m². Cet indicateur est par ailleurs couramment utilisé que ce soit pour présenter les performances attendues des nouveaux projets (dont les quartiers dits durables qui mettent souvent l'accent sur l'aspect énergétique) ou dans les réglementations actuellement en vigueur dans certains pays précurseurs (comme l'Allemagne). L'application de la Directive européenne sur les performances énergétiques des bâtiments (DPEB) va également généraliser l'utilisation de cet indicateur, en remplacement de l'actuel niveau d'isolation K. A titre de comparaison, on peut encore signaler que le standard « maison basse énergie » propose une consommation pour le chauffage inférieure à 65 kWh/m².an alors que le standard « maison passive » descend jusque 15 kWh/m².an.

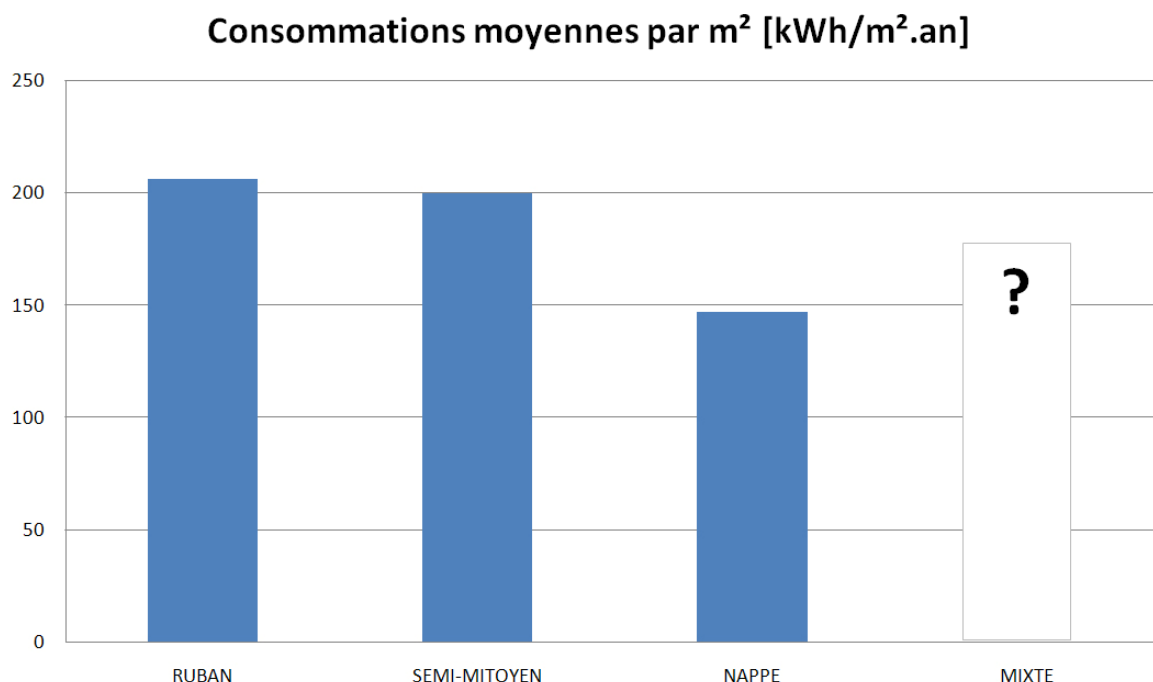


Figure 25 : Récapitulatif des besoins de chauffage annuel, ramené au m², calculés lors des simulations thermiques dynamiques des quartiers (valeur moyenne sur chaque quartier)

Les besoins en chauffage s'élèvent respectivement à 206 kWh/m².an, 200 kWh/m².an et 147 kWh/m².an dans les quartiers de type « ruban », « semi-mitoyen » et « nappe ». Ces résultats peuvent être mis en parallèle avec l'âge du bâti dans ces quartiers (Figure 26).

	RUBAN	SEMI-MITOYEN	NAPPE	MIXTE
Consommation moyenne	206 kWh/m ² .an	200 kWh/m ² .an	147 kWh/m ² .an	?

Age du bâti

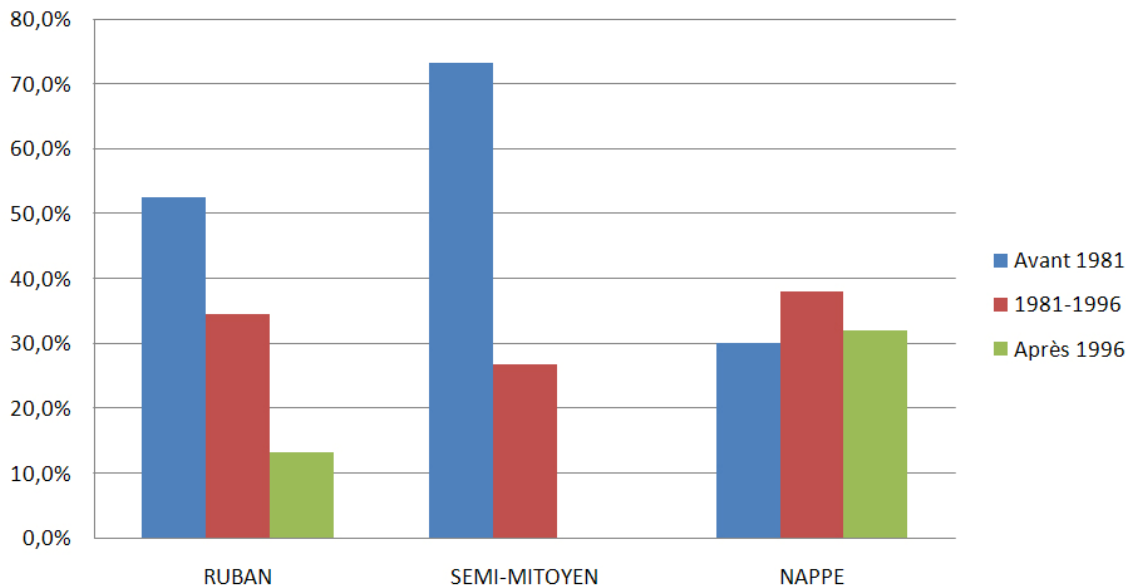


Figure 26 : Répartition du bâti par classe d'âge dans les quartiers de type « ruban », « semi-mitoyen » et « nappe » sur base des données cadastrales de l'Administration des Finances.

Le quartier de type « nappe », celui qui présente les meilleurs résultats en termes de besoins en chauffage est celui où le bâti est le plus récent. Toutefois, le quartier de type « semi-mitoyen » composé d'un bâti ancien (et donc non isolé) présente des résultats meilleurs que le quartier de type « ruban ». Ces résultats s'expliquent par la compacité et la mitoyenneté des habitations qui permettent de diminuer les besoins en chauffage. Le quartier de type « ruban » combine bâti relativement ancien et absence de mitoyenneté.

5.2. Le transport

Le tableau suivant récapitule les consommations annuelles estimées en kWh, et raménées à un travailleur ou à un étudiant, pour les déplacements domicile-travail et pour les déplacements scolaires.

On voit que ce sont les quartiers les plus monofonctionnels et isolés qui présentent les consommations les plus élevées. Le quartier de type « semi-mitoyen » situé à proximité d'un centre urbain et bien desservi en services et transport en commun présente en effet les valeurs les plus basses. Globalement, les déplacements domicile-travail sont plus consommateurs que les déplacements scolaires, ce qui peut s'expliquer par deux éléments : les étudiants utilisent plus intensivement les transports en commun et les distances parcourues sont plus faibles que pour les déplacements domicile-travail.

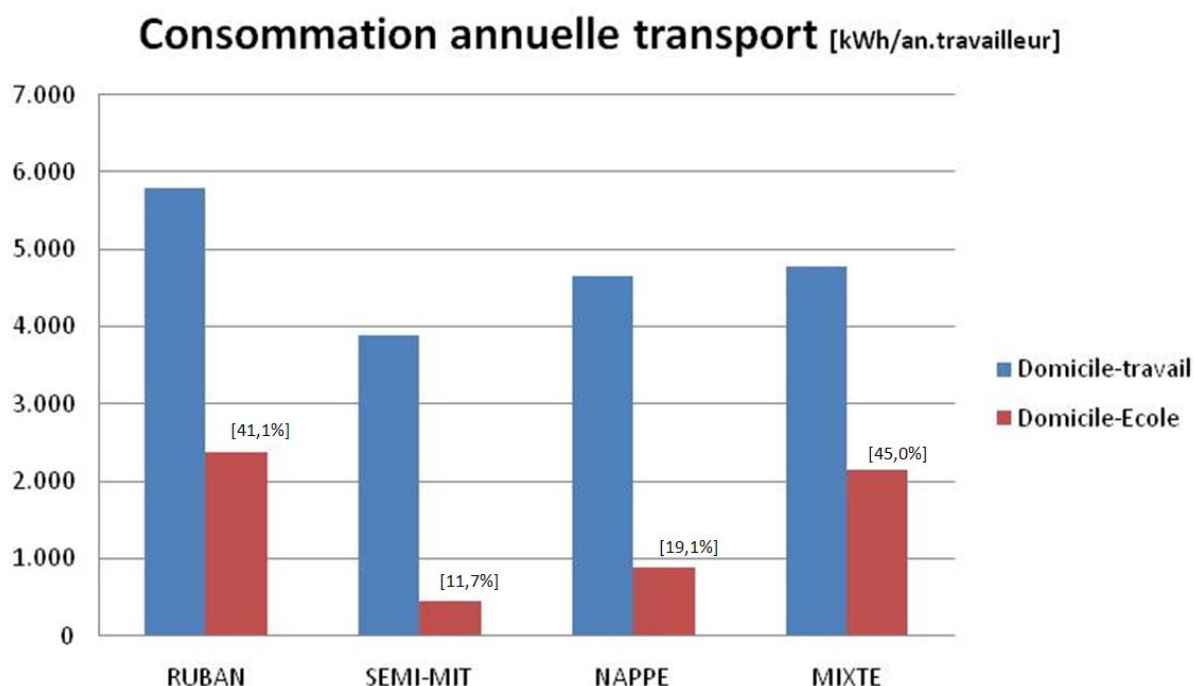


Tableau 36 : Récapitulatif des consommations annuelles estimées pour les déplacements domicile – travail (ramenées à un travailleur) et pour les déplacements scolaires (ramenées à un étudiant)

La part des déplacements scolaires dans le bilan total imputable aux transports varie selon les quartiers, de 11,7% dans le quartier de type « semi-mitoyen » à 45% dans le quartier de type « nappe ». On peut aussi remarquer que la proximité de Namur semble avoir un effet favorable sur les déplacements scolaires du quartier de type « nappe » alors que cet impact ne se répercute pas sur les déplacements domicile-travail.

Les causes explicatives de ces résultats sont à trouver dans une combinaison complexe de différents facteurs : la proximité des centres urbains, la desserte en transport en commun, la localisation des activités, etc. Ces paramètres feront l'objet des variations paramétrées de la phase III.

5.3. L'éclairage public

Le tableau suivant récapitule les consommations annuelles relatives au réseau d'éclairage public, en phase d'utilisation. On voit que cet indicateur varie du simple (dans le quartier de type « ruban ») au quadruple (dans le quartier de type « nappe »). Cette différence est essentiellement due au type de lampes employées et à la puissance de ces lampes puisque l'entre-distance entre point lumineux varie peu d'un quartier à l'autre. La configuration linéaire du quartier de type « ruban » permet toutefois une implantation optimale des points lumineux, ici d'un seul côté de la voirie.

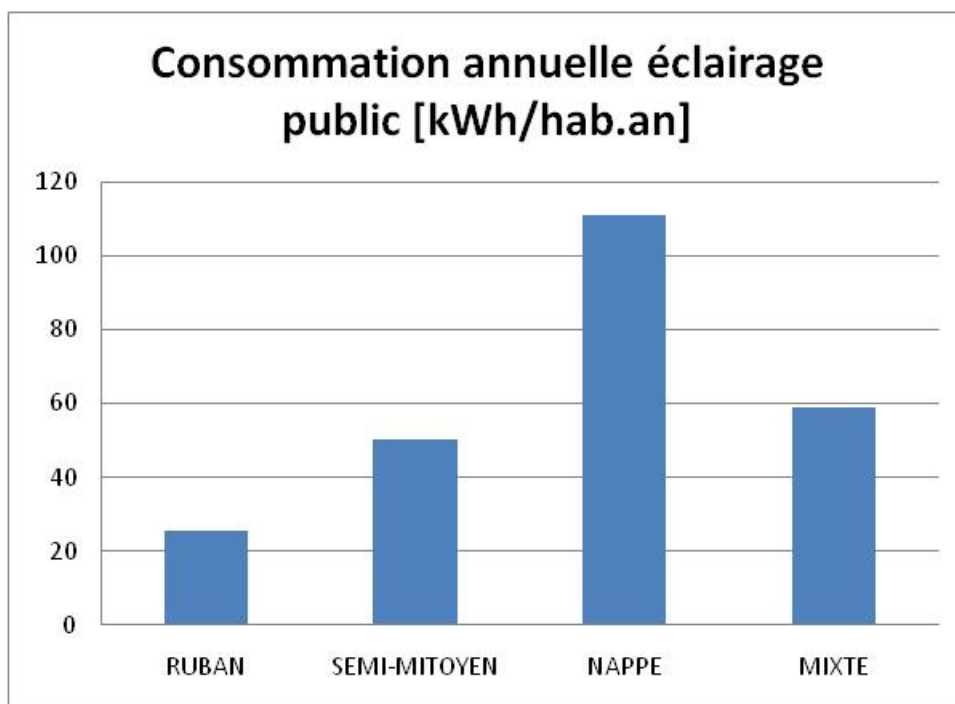
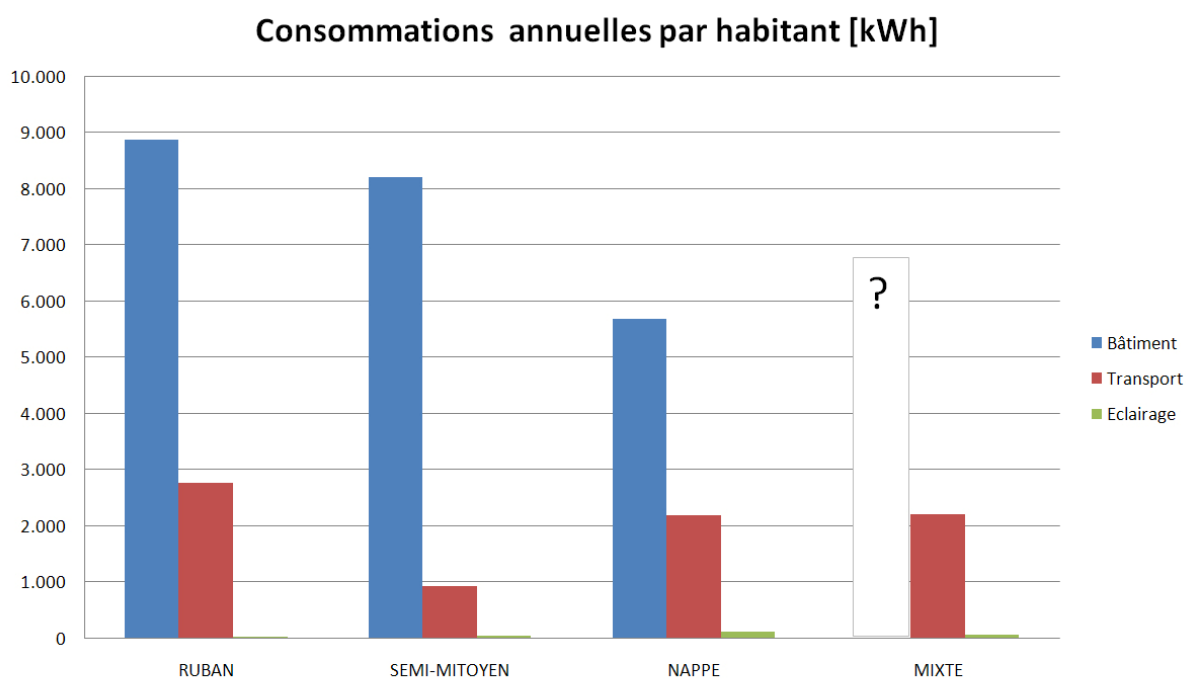


Figure 27 : Récapitulatif des consommations annuelles pour l'éclairage public, ramenées à un habitant

5.4. La comparaison entre les 3 postes

On peut enfin étudier l'impact de chacun des trois volets de l'analyse (énergie des bâtiments, transports des personnes et éclairage public) sur le bilan énergétique global des quartiers



!! transport = domicile-travail et domicile-école !!

Figure 28 : Récapitulatif des différents postes, ramenés à un habitant

Les besoins de chauffage des bâtiments représentent la plus grosse part du bilan énergétique globale des trois quartiers étudiés complètement (de 89,3% dans le quartier de type « semi-mitoyen » à 71,3% dans le quartier de type « nappe »).

	Energie bâtiment	Transport	Eclairage public	Total
RUBAN	8.873 kWh/hab.an	2.771 kWh/hab.an	25 kWh/hab.an	11.669 kWh/hab.an
SEMI-MITOYEN	8.213 kWh/hab.an	980 kWh/hab.an	50 kWh/hab.an	9.196 kWh/hab.an
NAPPE	5.681 kWh/hab.an	2.181 kWh/hab.an	111 kWh/hab.an	7.973 kWh/hab.an
MIXTE	-	2.209 kWh/hab.an	59 kWh/hab.an	2.268 kWh/hab.an

RUBAN	76,0 %	23,7 %	0,2 %	100 %
SEMI-MITOYEN	89,3 %	10,7 %	0,5 %	100 %
NAPPE	71,3 %	27,4 %	1,4 %	100 %

Tableau 37 : Récapitulatif des consommations relatives au chauffage des bâtiments, au transport des personnes (domicile-travail et déplacements scolaires) et à l'éclairage public

L'éclairage public a un impact très faible comparé aux autres postes. Enfin, ces graphes et tableaux récapitulatifs permettent de mettre en évidence que c'est l'habitant du quartier de type « ruban » qui, globalement, présente l'impact le plus important, avec 11.669 kWh/hab.an, soit 27% de plus qu'un habitant du quartier de type « semi-mitoyen » et 46% de plus qu'un habitant du quartier de type « nappe ». Le quartier de type « ruban » est surtout intéressant du point de vue des besoins en chauffage des bâtiments, alors que celui de type « semi-mitoyen » présente de bons résultats en ce qui concerne le transport des personnes.

5.5. Les principales conclusions

En termes d'ensoleillement

- Les tissus périurbains classiques (habitations « 4 façades ») semblent relativement favorables du point de vue de l'ensoleillement reçu puisque les masques qui pourraient le réduire sont peu importants (notamment en comparaison avec un tissu de centre ville classique) ;
- L'influence des masques est nettement plus importante en termes de réduction des apports solaires, qu'en termes de diminution de l'ensoleillement reçu ce qui tend à dire qu'aucun critère bioclimatique n'entre en compte dans la conception des lotissements ni des maisons qui le composent ;
- La perte d'ensoleillement, même si elle est faible, peut conduire à une diminution du confort des habitants. Ce critère devra être étudié.

En termes de besoins pour le chauffage des bâtiments

- On peut d'abord remarquer que le bâti de nos quatre quartiers-type est assez ancien et faiblement isolé. C'est particulièrement le cas dans les logements de type sociaux ;
- La mitoyenneté semble avoir un effet réel sur les besoins en chauffage.

En termes de transport des personnes

- Les déplacements domicile-travail sont plus énergivores que les déplacements scolaires. Les causes explicatives résident dans un moindre usage des transports en commun et des distances plus grandes ;
- Le quartier de type « semi-mitoyen », bien desservi en transport en commun et en services et commerces, présente logiquement l'impact le plus faible en termes de transport ;
- Les quartiers qui présentent les consommations les plus importantes sont les quartiers les plus monofonctionnels et isolés.

En termes d'éclairage public

- L'éclairage public participe de façon très réduite au bilan global, quelque soit le quartier considéré ;
- Les consommations imputables au réseau d'éclairage public dépendent fortement du type de lampes employées et de leur puissance (avec des différences considérables entre quartiers) ;
- Le parc est souvent ancien. On ne remarque aucune recherche pour adapter l'éclairage public (en termes de puissance, de design, etc.) au tissu ;
- Les dispositifs de dimming ne sont jamais utilisés dans les quartiers modélisés.

Globalement

- Les besoins en chauffage des bâtiments représentent la part la plus importante du bilan global, en l'état actuel. La modélisation de scénarios de rénovation énergétique du bâti devrait modifier cette répartition ;
- La part attribuée au transport varie selon les quartiers. Elle est fonction d'une interaction complexe de facteurs qu'il s'agira de déterminer grâce aux variations paramétrées ;
- L'éclairage public a un impact très restreint, dès lors qu'on le compare avec les besoins de chauffage et le transport.

6. Conclusions et perspectives

La méthode développée dans le cadre de la phase II de la recherche SAFE permet de donner une image globale des quartiers périurbains, en ce qui concerne les besoins pour le chauffage des bâtiments, le transport des personnes (domicile – travail et déplacements scolaires) et l'éclairage public. Quelques améliorations seront envisagées dans la prochaine phase :

- Test d'un nouveau logiciel (CitySIM), disponible en mars 2010, qui devrait permettre d'évaluer les besoins de chauffage des bâtiments, directement à l'échelle des quartiers, en prenant en compte les masques environnants ;
- L'approche développée pour le transport des personnes sera élargie à deux autres motifs : les déplacements pour des motifs commerciaux et les déplacements de loisirs. Aucune donnée statistique n'étant disponible pour ces motifs, l'approche développée se basera sur des scénarios – types en fonction de la localisation des commerces, etc.
- Intégration des résultats de l'analyse microclimatique concernant l'écoulement des vents dans les simulations thermiques dynamiques donnant les besoins en chauffage ;
- Prise en compte de coefficient d'usure et d'entretien pour l'éclairage public.

Cette méthode se complète d'une approche microclimatique sur l'écoulement des vents et de l'analyse de cycle de vie des bâtiments.

L'ensemble de ces outils, testés et approuvés dans cette phase, seront exploités dans la phase suivante qui traite des variations paramétrées. Il s'agira donc d'abord, de définir les paramètres qui feront l'objet des variations, en sachant que l'analyse en l'état actuel à déjà permis d'en identifier certains, qu'on peut globalement regrouper en 4 catégories :

- Les données microclimatiques : différents types de vents, etc. ;
- Les caractéristiques constructives : isolation, vitrage, etc ;
- Les caractéristiques de forme urbaine : densité, orientation, etc ;
- La localisation : distance par rapport à un centre, desserte en bus, etc.

L'objectif concret de la phase III sera de déterminer les paramètres les plus influents, de les hiérarchiser et, sur cette base, de proposer différents scénarios de rénovation des tissus périurbains étudiés.

7. Bibliographie [Phase II]

ADEME [2007]. *Guide des facteurs d'émissions. Version 5.0. Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées.*

Cellule Etat de l'Environnement Wallon [2008]. *Tableau de bord de l'environnement wallon 2008.* SPW-DGARNE (DGO3) – DEMNA - DEE, Namur, 199p.

CPDT [2002]. *Les coûts de la désurbanisation.* Conférence Permanente du Développement Territorial, Région wallonne. Etudes et documents, CPDT n°1, Namur, 135p.

CPDT [2005]. *Rapport final de la subvention 2004-2005.* Thème 2. Contribution du développement territorial à la réduction de l'effet de serre. Résumé et annexe. Ministère de la Région Wallonne.

Goosens L., Thomas I., Vannest D. [2007]. *Enquête socio-économique 2001 - Monographie «Le logement en Belgique»* - SPF Economie, Direction générale Statistique et Information Economique (DGSIE), Politique scientifique fédérale.

Jones P.J., Lannon S., Williams J. [2001]. *Modelling building energy use at urban scale.* Seventh international IBSPA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, 2001.

Kints C. [2008]. *La rénovation énergétique et durable des logements wallons. Analyse du bâti existant et mise en évidence des typologies de logements prioritaires.* Etude réalisée pour MRW-DGTRE dans le cadre de l'IEA-SHC-Task 37 et effectuée en collaboration avec le projet LEHR pour le compte de la politique scientifique fédérale

MRW [2007]. *Enquête sur la qualité de l'habitat en Région wallonne. 2006-2007.* Ministère de la Région wallonne, Namur.

Peuportier B. [2004] *La simulation et les nouvelles attentes liées au concept de développement durable*, documentation fournie avec les logiciels IZUBA.

Popovici E. [2006]. *Contribution à l'analyse en cycle de vie des quartiers.* Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 209p.

PUCA [non daté] *Les gisements du développement urbain : analyse quantitative à l'horizon 2050 des consommations énergétiques et des émissions de CO2 des tissus urbains. Rapport 1 : Méthodologie, hypothèses et premiers résultats.* Aménagement Urbain Transports Résidences Energie, Plan Urbanisme Construction Architecture. Technologie et construction. Energie dans le bâtiment : PREBAT.

Reiter S. [2007]. *Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes*. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain-la-Neuve.

Table des matières [Phase II]

<u>1. INTRODUCTION</u>	<u>1</u>
<u>2. LA METHODOLOGIE ET LES HYPOTHESES DE TRAVAIL.....</u>	<u>2</u>
2.1. LE MICROCLIMAT : L'ÉCOULEMENT DU VENT	3
2.1.1. METHODE ET OUTILS	3
2.2. LE MICROCLIMAT : L'ENSOLEILLEMENT	5
2.3. L'ÉNERGIE DES BATIMENTS.....	6
2.3.1. METHODES ET OUTILS.....	6
2.3.2. HYPOTHESES.....	7
2.4. L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE	9
2.4.1. METHODES ET OUTILS.....	9
2.4.2. HYPOTHESES.....	9
2.5. LE TRANSPORT DES PERSONNES	11
2.5.1. METHODES ET HYPOTHESES	11
2.5.2. LIMITES ET PERSPECTIVES	14
2.6. LE RESEAU D'ÉCLAIRAGE PUBLIC	15
2.6.1. METHODES ET HYPOTHESES	15
2.6.2. LIMITES ET PERSPECTIVES	15
2.7. SYNTHÈSE.....	15
<u>3. LES MODELISATIONS DE L'ÉCOULEMENT DES VENTS</u>	<u>16</u>
3.1. LES MODELISATIONS.....	16
3.2. LES RESULTATS.....	19
3.3. LA SÉLECTION DES MAISONS-TYPES POUR L'ANALYSE DES PRESSIONS DE VENT SUR LES CONSOMMATIONS ÉNERGETIQUES	22
3.4. LES PERSPECTIVES POUR LA PHASE III	25
<u>4. LES MODELISATIONS ÉNERGETIQUES.....</u>	<u>26</u>
4.1. L'ÉVALUATION DU QUARTIER DE TYPE « RUBAN »	26
4.1.1. LES DONNÉES DE CADRAGE	26
4.1.2. L'ÉVALUATION ÉNERGETIQUE DES BATIMENTS.....	27
4.1.1. L'ÉVALUATION ÉNERGETIQUE DES TRANSPORTS.....	30
4.1.2. L'ÉVALUATION ÉNERGETIQUE DU RESEAU D'ÉCLAIRAGE PUBLIC.....	32
4.1.3. SYNTHÈSE	32
4.2. L'ÉVALUATION DU QUARTIER DE TYPE « SEMI-MITOYEN ».....	33
4.2.1. LES DONNÉES DE CADRAGE	33

4.2.2.	L’EVALUATION ENERGETIQUE DES BATIMENTS.....	34
4.2.3.	L’EVALUATION ENERGETIQUE DES TRANSPORTS.....	35
4.2.4.	L’EVALUATION ENERGETIQUE DU RESEAU D’ECLAIRAGE PUBLIC.....	36
4.2.5.	SYNTHESE	36
4.3.	L’EVALUATION DU QUARTIER DE TYPE « NAPPE »	37
4.3.1.	LES DONNEES DE CADRAGE	37
4.3.2.	L’EVALUATION ENERGETIQUE DES BATIMENTS.....	37
4.3.3.	L’EVALUATION ENERGETIQUE DES TRANSPORTS.....	39
4.3.4.	L’EVALUATION ENERGETIQUE DU RESEAU D’ECLAIRAGE PUBLIC.....	39
4.3.5.	SYNTHESE	40
4.4.	L’EVALUATION DU QUARTIER DE TYPE « MIXTE »	40
4.4.1.	LES DONNEES DE CADRAGE	40
4.4.2.	L’EVALUATION ENERGETIQUE DES BATIMENTS.....	41
4.4.3.	L’EVALUATION ENERGETIQUE DES TRANSPORTS.....	41
4.4.4.	L’EVALUATION ENERGETIQUE DU RESEAU D’ECLAIRAGE PUBLIC.....	42
4.4.5.	SYNTHESE	42
4.5.	L’ANALYSE DE CYCLE DE VIE	42
5.	<u>LA COMPARAISON ENTRE QUARTIERS</u>	<u>46</u>
5.1.	L’ENERGIE DES BATIMENTS.....	46
5.2.	LE TRANSPORT	47
5.3.	L’ECLAIRAGE PUBLIC.....	48
5.4.	LA COMPARAISON ENTRE LES 3 POSTES	49
5.5.	LES PRINCIPALES CONCLUSIONS	50
6.	<u>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....</u>	<u>52</u>
7.	<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	<u>53</u>
	<u>TABLE DES MATIERES</u>	<u>55</u>



SUBURBAN AREAS FAVORING ENERGY EFFICIENCY [SAFE]

RAPPORT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE 2

Chercheuses : A-F. Marique, T. de Meester
Encadrement : A. de Herde, S. Reiter

LEMA [ULg] - Architecture & Climat [UCL]

28 février 2011

Suburban Areas Favoring Energy efficiency [SAFE]

Rapport Scientifique et Technique [n°2]

1. Introduction et rappel du projet de recherches SAFE
2. Phase II : les compléments apportés au précédent rapport
3. Phase III : l'état de l'art des techniques de rénovation
4. Phase III : l'impact des choix méthodologiques
5. Phase III : les variations paramétrées « bâtiment »
6. Phase III : les variations paramétrées « forme urbaine »
7. Phase III : les variations paramétrées « transport »
8. Phase III : la généralisation de l'approche « transport »
9. Phase III : la définition du territoire périurbain
10. Conclusions et perspectives pour la suite de la recherche

Annexe 1 : Plans et coupes des maisons modélisées

Annexe 2 : Influence des modes d'occupation : résultats complets

Auteurs : Anne-Françoise Marique [LEMA – Ulg]
Tatiana de Meester [Architecture & Climat – UCL]
Encadrement : André de Herde [Architecture & Climat – UCL]
Sigrid Reiter [LEMA-ULg]

Période de travail : Janvier 2010 - Décembre 2010
Date : 28 février 2011

1. Introduction

Le projet de recherches SAFE (« *Suburban Areas Favoring Energy efficiency* ») porte sur l'évaluation énergétique des quartiers périurbains wallons existants dans le but d'en améliorer l'efficacité énergétique, notamment par le développement de nouveaux modes de conception et de planification de ces tissus. Cette recherche consiste en une modélisation énergétique globale des quartiers périurbains (intégrant l'évaluation énergétique des bâtiments, du transport et des réseaux d'énergie) sur toute la durée de leur cycle de vie. L'objectif concret de ce projet de recherches est de fournir un outil informatique interactif, accessible sur le web, qui permette d'évaluer l'efficacité énergétique des quartiers périurbains wallons existants et de tester différents scénarios de renouvellement. Le projet de recherches SAFE est planifié sur une période de trois ans, de février 2009 à janvier 2012 et est structuré autour de cinq phases principales : l'état de l'art, la définition d'une typologie des quartiers périurbains wallons et la sélection des cas d'étude [phase I] ; le développement de méthodes d'évaluation et la modélisation énergétique de chacun des quartiers-types choisis, sur base de la configuration, des techniques et des usages actuels [phase II] ; la modélisation des quartiers-types sur base d'une variation paramétrée des principales caractéristiques architecturales et urbaines des tissus sélectionnés [phase III] ; la formalisation et la modélisation énergétique de différents scénarios de renouvellement des tissus périurbains [phase IV] ; et la diffusion des résultats de la recherche, notamment via la publication de l'outil interactif final [phase V].

Un premier rapport scientifique et technique [Marique et al., 2010], envoyé à la Région wallonne en janvier 2010, couvrait la première année de travail et présentait les résultats des phases I et II de la recherche. Il abordait notamment les méthodes développées et utilisées pour réaliser l'évaluation énergétique des quartiers périurbains types en l'état actuel et les résultats concrets de cette évaluation. Le présent rapport scientifique et technique [n° 2] couvre la période de travail qui s'étend de janvier à décembre 2010. Il est structuré en 10 parties. Suite à cette introduction qui rappelle les objectifs de la recherche et son état d'avancement, le chapitre 2 apporte quelques compléments à la phase II, conformément au retour obtenu lors du comité d'accompagnement de janvier 2010. Les chapitres 3 à 9 concernent la phase III de la recherche et traitent respectivement de l'impact des logiciels et des choix méthodologiques adoptés sur les résultats des simulations [chapitre 3], de l'état de l'art des principales techniques de rénovation énergétique applicables en milieu périurbain [chapitre 4], des variations paramétrées « bâtiment » qui abordent tant les aspects structurels et constructifs des bâtiments que l'influence bioclimatique et des modes de vie des occupants [chapitre 5], des variations paramétrées relatives à la forme urbaine [chapitre 6], puis au transport des personnes [chapitre 7], et enfin, de la généralisation de l'approche « transport » développée, à l'ensemble du territoire wallon [chapitre 8] et de l'esquisse d'une définition du territoire périurbain wallon [chapitre 9]. L'objet de ces développements est de déterminer les paramètres qui ont le plus d'influence sur les consommations énergétiques globales des quartiers périurbains, tant en ce qui concerne le bâtiment, que le quartier et le transport des personnes, afin d'orienter le choix des meilleurs scénarios de renouvellement des tissus périurbains à évaluer lors de la phase IV. Le dernier chapitre [10] synthétise les principales avancées et conclusions de cette phase de travail et aborde, sur cette base, les perspectives pour les prochaines étapes de la recherche.

2. Les compléments apportés à la phase II

2.1. Introduction

Suite au comité d'accompagnement du 6 janvier 2010, à la Région wallonne, qui a permis de valider le travail réalisé jusque là, il a été décidé de compléter l'approche développée en phase II de trois éléments :

- Les pressions de vent sur les différents bâtiments-types identifiés ont été calculées lors de la phase II, à l'aide du logiciel Fluent. Les résultats ont été présentés lors du comité d'accompagnement et dans le premier rapport scientifique et technique. Il s'agit maintenant d'intégrer ces pressions de vent dans le calcul des consommations énergétiques des bâtiments, de façon à quantifier l'impact de ces pressions de vent sur les consommations énergétiques calculées avec le logiciel TAS [chapitre 2.2.] et donc d'identifier la nécessité, ou pas, d'intégrer ce facteur dans les calculs ultérieurs et les variations paramétrées de la phase III ;
- L'évaluation des consommations énergétiques dues au chauffage des bâtiments n'avait pas été effectuée pour le quartier de type « mixte » de Rotheux. Les simulations ont été réalisées et les résultats sont présentés ici et mis en perspective avec les trois autres quartiers ;
- Lors de la phase II, une méthode d'évaluation des consommations énergétiques relatives au transport des personnes a été présentée et validée. Cette méthode prend en compte deux motifs de déplacements : les déplacements domicile-travail et les déplacements domicile-école, qui comme on le sait ne représentent qu'une partie du profil de mobilité des ménages. Cette approche est ici complétée de deux motifs de déplacements supplémentaires : les loisirs et le commerce [chapitre 2.4.].

2.2. L'intégration des pressions de vent dans TAS

L'analyse du microclimat doit passer par celle des vents parcourant les quartiers. La valeur de ceux-ci est matérialisée à travers des coefficients de pression qui sont appliqués sur les parois (voir rapport scientifique et technique de l'année dernière [Marique et al., 2010]). Ces coefficients de pressions, sont obtenus via le logiciel Fluent et sont intégrés dans le logiciel TAS afin de les appliquer sur les bâtiments étudié. Cependant, il faut savoir que :

- Les coefficients de pression ont un impact sur toutes les imperfections du parement du bâtiment comme les légères fentes ou autres types de défaut qui permettent à l'air de s'infiltrer. Ce qui est très difficilement évaluable et simulable dans TAS ;
- Ces modélisations dans TAS ne permettent pas de considérer toutes les imperfections liées à l'enveloppe du bâtiment car, dans TAS, les coefficients de pression ont un impact sur les ouvertures de fenêtre. C'est donc par ce lien aux fenêtres qu'est modélisé l'impact des coefficients de pression. Ces fenêtres s'ouvrent 1h par jour à 17h00 ouverture de 30% de la fenêtre (fenêtre de la cave fermée) et ce, dans le cas d'habitation utilisant un système de ventilation A. Ce qui correspond, dans les simulations sur les bâtiments, aux cas non isolé, 3

cm d'isolation, 6 cm d'isolation et au standard actuel. Ceci laisse peu de temps pour permettre qu'un réel impact ne soit visible ou du moins significatif sur la consommation des bâtiments.

- Ces coefficients n'ont plus d'impact lorsqu'on utilise des systèmes de ventilation C ou D car TAS ne permet pas d'intervention de quelque manière que ce soit de ces coefficients de pression sur les systèmes de ventilation. Et auraient-ils vraiment un impact en sachant que les débits sont régulés mécaniquement ?!

Les résultats et discussions ont été repris et intégré dans l'ensemble du texte traitant des « Variations paramétrées des « bâtiments » afin de mieux comprendre leur implications.

2.3. L'évaluation du quartier de type « mixte »

Lors de la phase II, l'évaluation des consommations énergétiques relatives au chauffage des bâtiments du quartier de type « mixte » de Rotheux n'avait pas été réalisée. Ce type de quartier était défini, dans Marique et al. [2010] comme un tissu hétérogène, tant au niveau de la forme, de l'époque de construction que des fonctions. Il se développe en général autour d'un noyau ancien, auquel viennent s'adjoindre des développements plus récents. Il comprend certaines caractéristiques des trois premiers types de quartiers identifiés et on y retrouve une plus grande variété de types de logements. Son évaluation est donc plus complexe que dans les cas déjà traités. Rappelons qu'à ce stade, seuls les bâtiments résidentiels sont évalués.

Les résultats de l'évaluation énergétique réalisée conformément à la méthode développée et présentée en phase II et dans Marique et Reiter [2010a] sont repris ci-dessous.

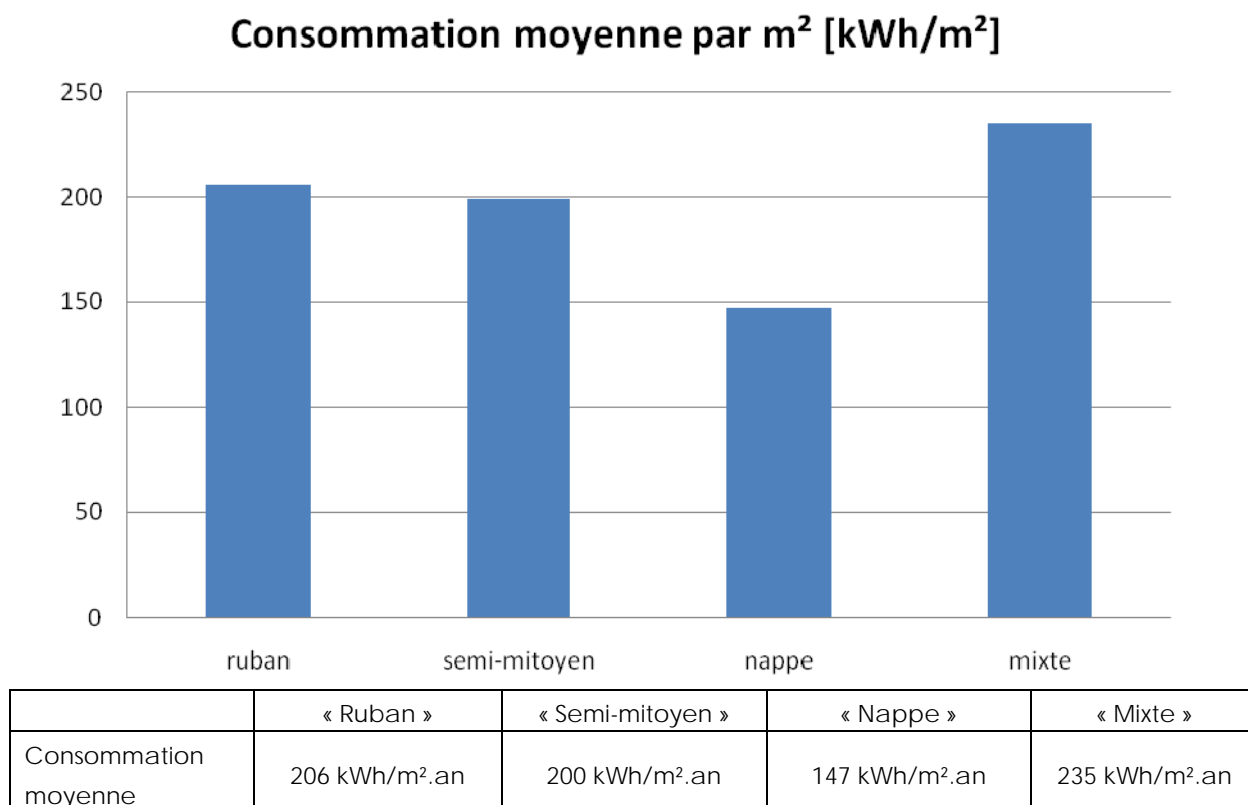


Figure 1 : Consommations moyennes du stock bâti de chaque quartier, ramené à 1m².

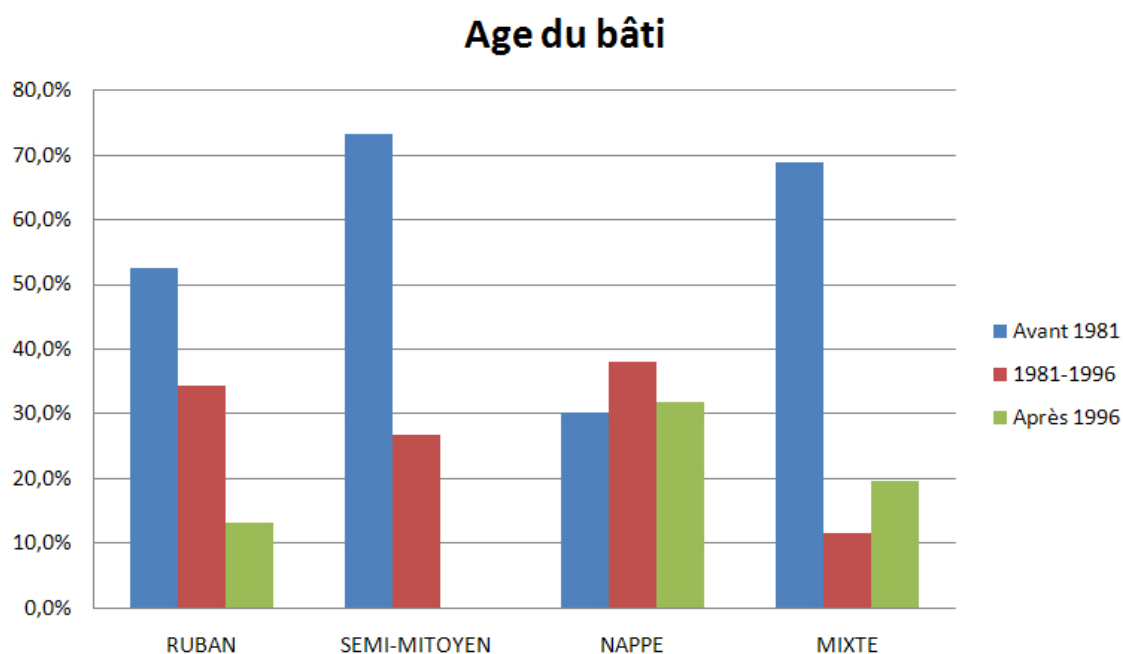


Figure 2 : Répartition du bâti par classe d'âge dans les 4 quartiers-types

La consommation moyenne de chauffage du stock bâti du quartier de type « mixte » est plus élevée que celles des trois autres quartiers-types. Cela s'explique notamment par la présence d'un grand nombre de bâtiments anciens, et donc peu ou pas isolés.

2.4. Les déplacements liés aux commerces et aux loisirs

2.4.1. La problématique

La méthode proposée, en phase II, pour évaluer les consommations énergétiques attribuables au transport des personnes prend en compte deux motifs de déplacements : les déplacements domicile-travail et les déplacements scolaires, pour lesquels des données sur la fréquence des déplacements, leur longueur et le mode de transport utilisé sont disponibles, à l'échelle du secteur statistique (recensements de l'INS de 1991 et 2001). Il est communément admis que ces deux motifs de déplacement ont un rôle important dans le sens où leur caractère structurant et habituel influence les autres motifs de déplacement. Hubert [2004] relève ainsi que, selon l'enquête MOBEL (base : 2.828 déplacements de 1.619 écoliers et étudiants et 6.961 déplacements de 3.076 actifs employés), « *un jour ouvrable en période scolaire, la mobilité des actifs employés et celles des écoliers et des étudiants est dépendant de l'activité de travail ou d'études à hauteur, respectivement, de 60% et 69% des déplacements et 68% et 69% des distances parcourues. Pendant une journée de ce type, les déplacements liés à l'étude ou au travail structurent la mobilité de 50% des belges* ». Il ajoute que « *dans l'ensemble de tous les déplacements réalisés en Belgique, les déplacements vers le travail ou l'école représentent respectivement 30% et 17% des déplacements, 45% et 9% des distances parcourues. Il faut donc analyser les déplacements des personnes dont l'activité principale n'est pas le travail ou l'étude, en semaine ou le week-end, quelque soit leur statut. Ces activités sont variées : achats, visites ou loisirs* ». Les déplacements domicile-travail sont de plus généralement les

déplacements les plus longs effectués au cours d'une semaine. Ils n'ont enfin cessé d'augmenter ces dernières décennies [Hubert et Toint, 2002].

Suite à la réunion de pilotage et de coordination du 6 janvier 2010 et pour enrichir l'approche proposée, il a été décidé de compléter la méthode proposée d'un module complémentaire qui permette de prendre en compte deux types de déplacements supplémentaires : les déplacements commerciaux et les déplacements de loisirs. Nous ne disposons toutefois pas, pour ces motifs de déplacements, de données statistiques du type de celles exploitées pour les déplacements domicile-travail et déplacements scolaires. Cette difficulté est par ailleurs communément rencontrée dans la littérature, ce qui explique que la plupart des méthodes existantes ne concernent que les déplacements domicile-travail.

2.4.2. Le développement de la méthode

Compte tenu des difficultés et limites énoncées dans la section précédente, nous avons donc développé une approche basée, d'une part, sur des profils de ménages-types auxquels sont attribués des comportements de mobilité-types et, d'autre part, sur la localisation géographique des principaux centres de commerces et de loisirs.

Différents profils de ménages sont d'abord identifiés, sur base de leurs caractéristiques socio-économiques (couple avec/sans enfants, personne seule, personne sans emploi, etc.). A chacun de ces profils, on attribue, en plus des déplacements domicile-travail et des déplacements scolaires obtenus sur base des données statistiques, des comportements de mobilité propres relatifs aux déplacements liés aux loisirs et aux achats. Ces hypothèses concernent la fréquence des déplacements, le lieu de destination et le mode de transport utilisé. Trois types de zones commerciales sont considérés : les commerces de proximité, les centres-villes et les centres commerciaux périphériques. Pour les déplacements de loisirs, nous considérons deux types de localisation : le centre de la commune (si celle-ci est bien équipée en zones de loisirs, sinon on prendra la commune voisine la plus proche) et un centre de loisirs de plus grande envergure (par défaut un centre-ville plus important). La distance parcourue pour un trajet simple relatif aux loisirs est alors la moyenne entre la distance entre le quartier et le centre de la commune (ou de la commune voisine la plus proche) et la distance entre le quartier et une zone de sports et loisirs de plus grande envergure. Les distances parcourues vers les lieux de destination ainsi identifiés sont mesurées à l'aide d'un système d'information géographique.

Le mode de transport utilisé prend en compte la distance à parcourir, la distance à l'arrêt de bus le plus proche et la desserte en transport en commun. Nous avons déterminé, à cet effet, un « indice de desserte en bus » qui représente le nombre de passage moyen par sens et par jour. Il est calculé en sommant le nombre de passage à un arrêt de bus, pendant une semaine, toutes lignes confondues et en divisant cette somme par le nombre de jour de la semaine où une desserte en bus est effective et par deux (pour obtenir un indice par sens de circulation). Nous considérons ensuite les hypothèses suivantes concernant le choix du mode de transport :

- Si la distance au lieu de destination (commerces ou loisirs) est inférieure à 1 kilomètre, le déplacement est effectué à 80% en modes doux (à pied ou à vélo) et à 20% en voiture ;
- Si la distance à l'arrêt de bus est inférieure à 400 mètres et si l'indice de bus défini ci-dessus

- est supérieur ou égal à 16, le déplacement est effectué à 80% en bus et à 20% en voiture ;
- Si la distance à l'arrêt de bus est inférieure à 400 mètres et si l'indice de bus défini ci-dessus est inférieur à 16 et supérieur ou égal à 8, le déplacement est effectué à 50% en bus et à 50% en voiture ;
- Si la distance à l'arrêt de bus est inférieure à 400 mètres et si l'indice de bus défini ci-dessus est inférieur à 8, le déplacement est effectué à 30% en bus et à 70% en voiture ;
- Sinon, le déplacement est réalisé à 80% en voiture et à 20% en bus, et ce pour tenir compte des ménages qui ne disposent pas de voiture.

Graphiquement, ces conditions peuvent s'exprimer de la façon suivante :

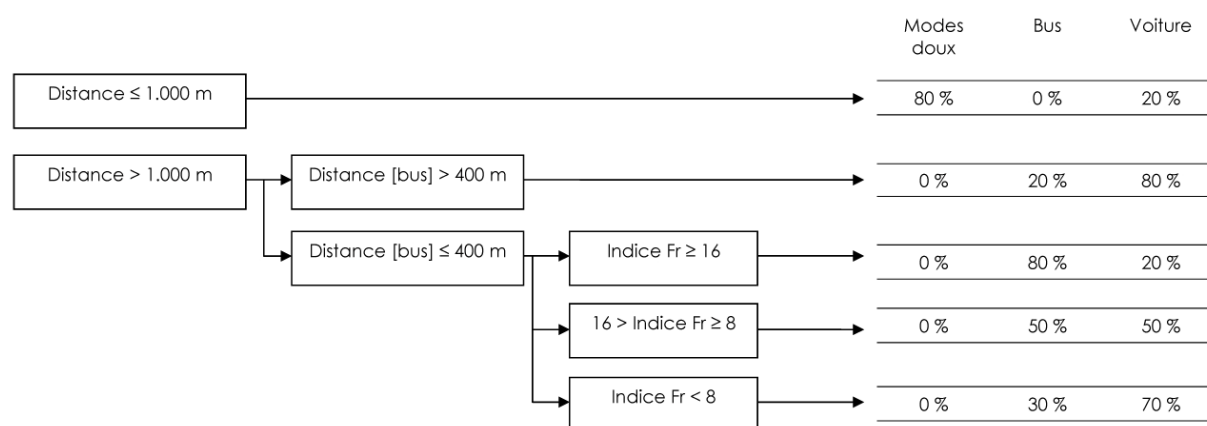


Figure 3 : Hypothèses et conditions fixées pour déterminer le mode de transport utilisé pour les déplacements liés aux commerces et aux loisirs.

Il suffit ensuite de sommer, pour chaque motif de déplacement, le nombre de kilomètres effectués annuellement en modes doux, en voiture et en bus, puis, conformément à la méthode développée dans la phase II de la recherche et présentée de façon détaillée dans Marique et al. [2010] et Marique et Reiter [2010b] de distinguer les véhicules « essence » des véhicules « diesel » et d'appliquer les coefficients de consommation définis pour obtenir, après addition, la consommation énergétique des déplacements liés aux commerces et aux loisirs.

Le modèle développé manque de finesse dans le sens où les comportements-types n'existent pas et où les pratiques en termes de mobilité sont complexes. Néanmoins, il permet de donner une image globale des consommations inhérentes à la mobilité des ménages et de comparer aisément différents quartiers, du point de vue de la localisation et de la consommation énergétique des déplacements. Finalement, un facteur de correction pourrait être appliqué aux résultats obtenus de façon à prendre en compte la tendance de certains ménages à combiner différents types de déplacements lors d'un même trajet. Notre approche se rapproche par ailleurs de celle adoptée par Saunders et al. [2008] qui ont développé une méthode simplifiée pour prendre en compte les consommations d'énergie liées à différents modes de transport (travail, école, commerces et loisirs). La fréquence des déplacements y est définie a priori (le modèle considère, par exemple, que toutes les personnes de plus de 18 ans se rendent dans un magasin 2 fois par semaine). Les distances parcourues sont déterminées sur base d'un SIG. Le mode de transport utilisé dépend de la distance parcourue. La philosophie de la méthode est identique à la nôtre mais les hypothèses prises semblent plus générales.

2.4.3. Mise à jour de l'évaluation des quartiers-types

Les résultats présentés en phase II concernaient, pour le transport, uniquement les déplacements domicile-travail et domicile-école. Ils sont ici complétés des déplacements liés aux commerces et aux loisirs, conformément à la méthode présentée ci-dessus. On adoptera, pour cette évaluation énergétique des quartiers-types, en l'état actuel, une version légèrement simplifiée de la méthode proposée en considérant que chaque ménage adopte, pour les motifs commerciaux un profil dit « standard¹ » défini de la façon suivante :

- Un déplacement commercial vers les commerces de proximité par semaine ;
- Un déplacement commercial vers le pôle commercial de grande importance le plus proche (soit le centre-ville, soit un centre commercial de périphérie) par semaine ;
- Un déplacement commercial vers l'autre pôle commercial, une fois toutes les deux semaines. Il semble important de prendre en compte à la fois le « centre commercial périphérique » et le « centre-ville », même si celui-ci est plus éloigné du quartier que le centre commercial périphérique dans le sens où les modèles de Thomas et al [2009], par exemple, suggèrent tous l'importance des achats en centre-ville lorsque celui-ci dispose de suffisamment de commerces.

Pour les déplacements liés aux loisirs, nous considérerons ici que chaque individu réalise un déplacement par semaine.

Les tableau et graphiques suivants synthétisent les résultats obtenus, pour les déplacements liés aux commerces et aux loisirs, et les mettent en perspective avec les résultats obtenus précédemment, pour les déplacements domicile-travail et domicile-école.

Tableau 1 : Consommations énergétiques globales (bâtiment + transport + réseaux) mises à jour pour prendre en compte les déplacements liés aux commerces et aux loisirs (section jaune)

[kWh/pers.an]	« Ruban »	« Semi-mitoyen »	« Nappe »	« Mixte »
Travail	5.785	3.945	4.646	4.782
Ecole	2.376	429	888	2.152
Commerces	1.313	120	290	358
Loisirs	903	294	309	433
Total	10.377	4.788	6.133	7.752

1 Dans la suite de la recherche, d'autres profils de mobilité seront établis et testés afin d'évaluer l'impact de différents scénarios de mobilité (ménages qui privilégient le commerce de proximité, ou, au contraire le centre-ville, etc.).

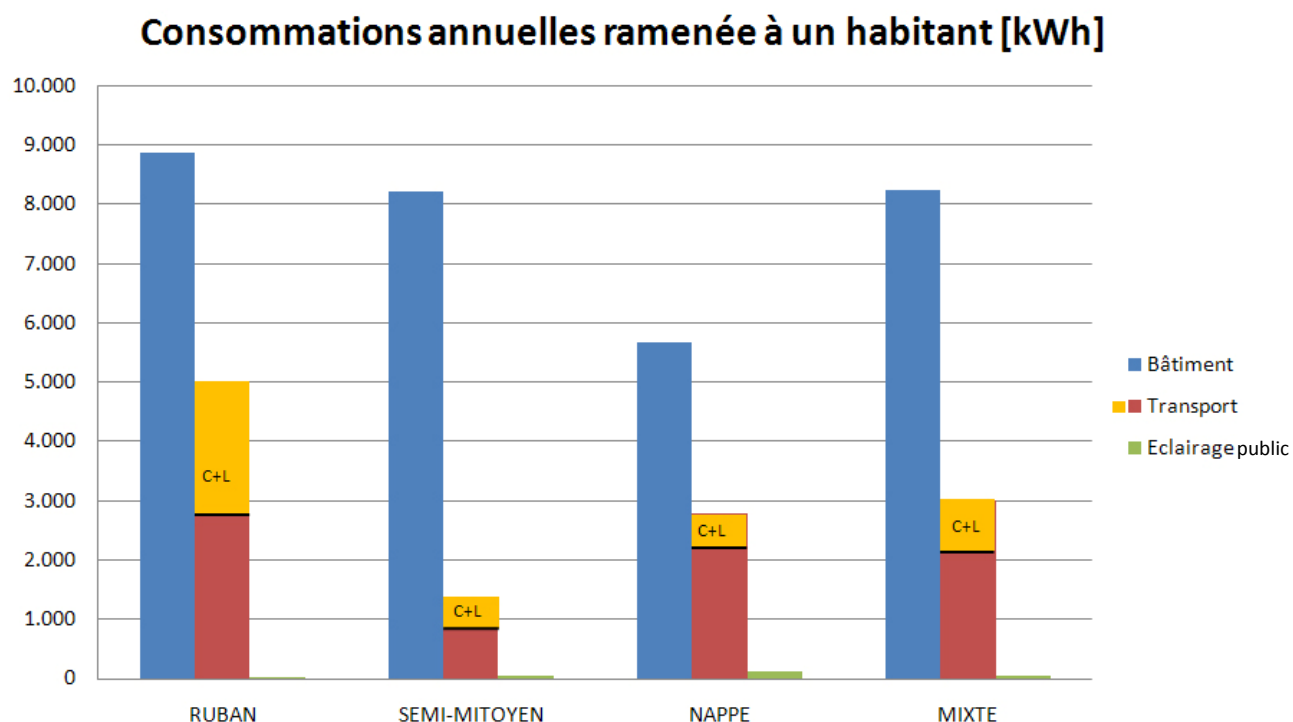


Figure 4 : Consommations énergétiques globales (bâtiment + transport + réseau) des 4 quartiers-types mises à jour pour prendre en compte les déplacements liés au commerce et aux loisirs (section jaune).

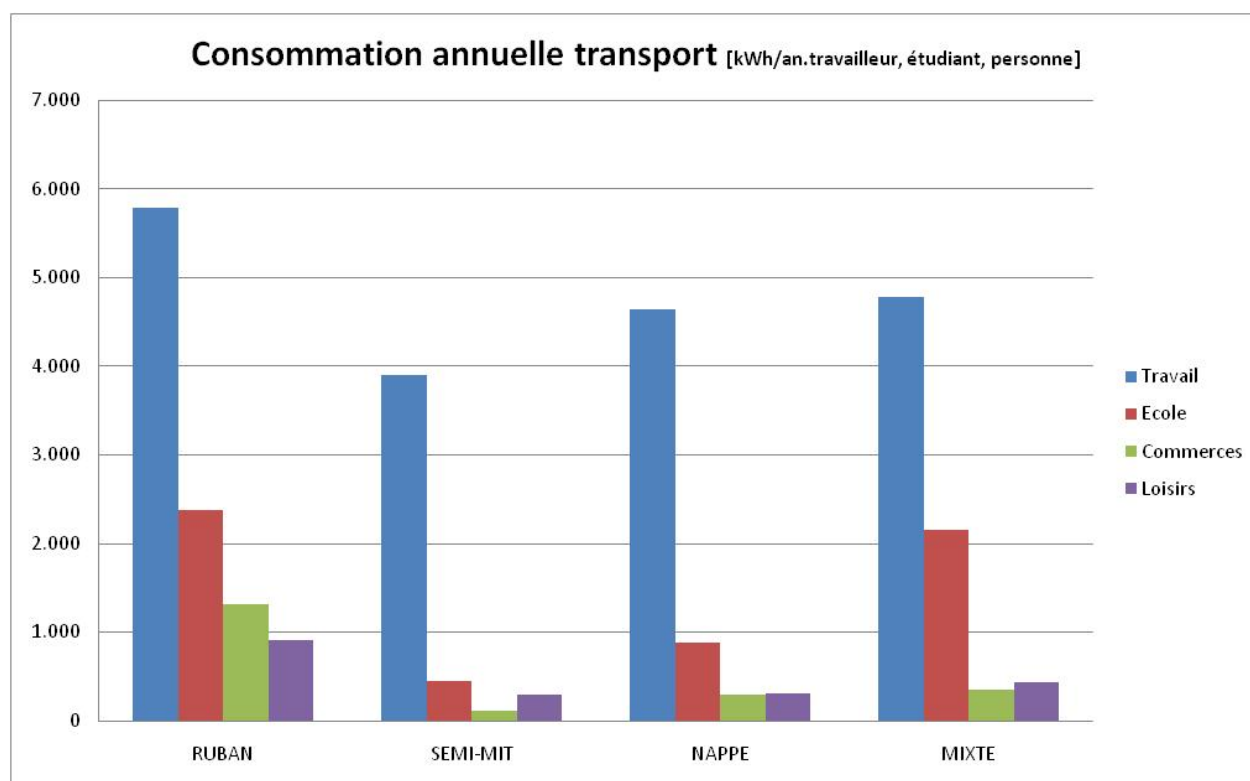


Figure 5 : Consommations énergétiques des déplacements domicile-travail, domicile-école, domicile-commerces et domicile-loisirs, calculées, pour les 4 quartiers-types de la recherche, selon les méthodes développées et présentées dans Marique et al. [2010], Marique et Reiter [2010b] et ci-dessus.

La mise à jour des résultats de l'évaluation énergétique des quatre quartiers-types avec les consommations énergétiques relatives aux déplacements inhérents aux commerces et aux loisirs confirment les résultats et conclusions établis précédemment : ce sont les quartiers les plus éloignés des centres-villes qui présentent les consommations relatives au transport les plus élevées (quartier de type « ruban », et dans une moindre mesure quartier de type « mixte »).

On peut par ailleurs remarquer que les consommations relatives aux commerces et aux loisirs jouent un rôle non négligeable dans le bilan global, ce qui justifie leur prise en compte. Les déplacements domicile-travail restent toutefois les plus grands consommateurs d'énergie, ce qui peut s'expliquer, comme nous l'avons déjà mentionné lors de la comparaison avec les déplacements scolaires, par une plus grande concentration des lieux d'emplois dans les centres-villes et dans certaines zones périphériques alors que les écoles, les commerces et les zones de loisirs semblent plus éparpillés sur le territoire wallon, et se développent notamment en lien avec des centres secondaires, périurbains ou ruraux, d'habitat.

3. L'état de l'art des techniques de rénovation énergétique des tissus périurbains

3.1. Situation des bâtiments en Belgique

La Belgique se trouve actuellement dans un tournant stratégique concernant l'utilisation rationnelle de l'énergie : la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) va l'obliger à remédier à certains de ses manques en la matière. Ainsi, les caractéristiques du parc immobilier devraient peu à peu être mieux connues via les audits énergétiques. La certification peut également amener une prise de conscience plus aiguë des ménages à propos de leur impact en terme d'utilisation d'énergie.

Nous ne reviendrons pas sur l'état du parc de logement qui a été détaillé dans le rapport scientifique et technique de février 2010.

Mais nous rappellerons cependant que les bilans énergétiques belges mettent en avant l'importance du chauffage sur la facture : environ 75 % de l'énergie résidentielle utilisée par les ménages sert à chauffer leur logement (voir figure ci-dessous). Cela se calcule aussi en énergie primaire (figure ci-dessous).

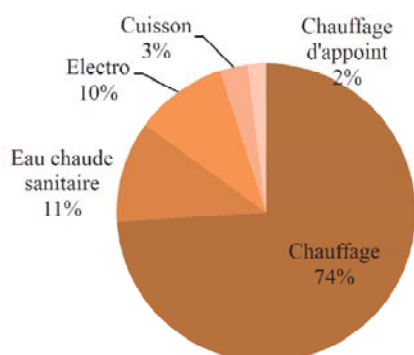


Figure 7 : Répartition des consommations des logements en fonctions du type d'occupation en Wallonie (Source ICEDD Bilan énergétique wallon 2005)

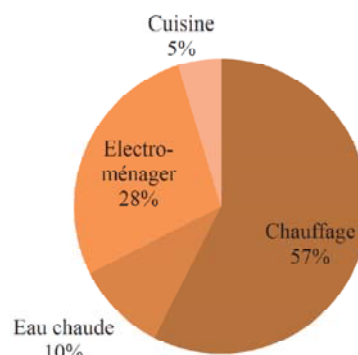


Figure 6 : Proportion d'énergie primaire utilisée par le résidentiel en terme d'énergie primaire, l'électroménager pèse nettement plus lourd, réduisant l'importance du chauffage (qui reste cependant le plus gros poste). (Source : Test-Achats, 2007)

Il faut se rendre compte que le parc de logement belge est assez vieux. En Région wallonne, 70% du parc date d'avant la première crise pétrolière et 45% date d'avant la seconde guerre mondiale comme l'atteste le tableau ci-dessous (Tableau 2).

Tableau 2 : Logements selon l'année de construction et la région (en %)

Année de création	Région flamande		Région wallonne		Région de Bruxelles- Capitale		Belgique	
	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001
Avant 1919	12,6	9,3	33,2	27,1	17,3	15,9	19,5	15,4
1919 – 1945	16,8	15,1	17,3	18,1	25,2	26,3	17,7	17,0
1946 – 1970	37,7	31,9	27,1	23,7	41,1	37,7	34,7	29,8
1971 – 1980	20,7	17,2	15,7	14,0	12,7	11,2	18,4	15,7
1981 – 1990	12,2	11,2	6,7	7,0	3,7	3,5	9,7	9,3
1991 – 2000	-	15,3	-	10,1	-	5,4	-	12,9
Transformations de 1991 à 2001	6,4	9,8	9,2	10,8	5,6	9,4	7,2	10,1

(Source: INS - RPL 1991 et ESE 2001, calculs OASes cité dans [Vanneste D. et al., 2007])

La Figure 8 confirme qu'il y a un potentiel énorme de gains énergétiques (ou réduction) sur les plus anciens bâtiments qui sont extrêmement mal isolés. Elle révèle que c'est à partir des crises énergétiques des années 70 que l'isolation des murs commence lentement à se généraliser. Mais il en ressort que lors de rénovations ou transformations, si l'isolation des toitures et le remplacement des fenêtres sont des pratiques courantes, la post-isolation des murs reste cependant très rare.

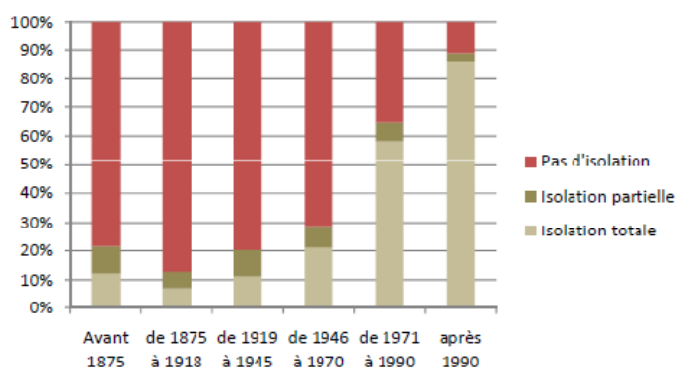


Figure 8 : Pourcentage de logements ayant des murs isolés en fonction de leur époque de construction [KINTS C., 2008]

A l'heure actuelle, les médias parlent de plus en plus de rénovation de bâtiments existants. En effet pour arriver à diminuer les consommations énergétiques des bâtiments, la rénovation apparaît comme une excellente solution. La région de Bruxelles-Capital encourage cela en proposant des primes lors des rénovations basse ou très basse énergie.

Alors que le standard actuel à atteindre devient assez complexe suite à l'introduction de la PEB (Performance énergétique des bâtiments), plusieurs autres standards plus ou moins définis selon les régions existent. Le tableau ci-dessous reprend un état des lieux pour le résidentiel, des principaux standards existants actuellement en Belgique. [de Meester, 2009].

Le standard actuel :

Exigences thermiques à respecter		Région de Bruxelles-Capitale	Région flamande	Région wallonne
Bâtiment neuf + rénovation > 1.000m²	Isolation thermique	Max K40 U _{max} ou R _{min}	Max K45 U _{max} ou R _{min}	Max K45 U _{max} ou R _{min}
	Isolation thermique	max. E 90 (à partir du 02/07/2009) max. E 70 (à partir du 02/07/2011)	max. E 80	max. Ew 100 et max. Espec 170 kWh/m² max. Ew 80 et max. Espec 130 kWh/m² (à partir du 01/09/2011)
	Climat intérieur	Dispositifs de ventilation (résidentiel) Limitation du risque de surchauffe	Dispositif de ventilation (résidentiel) Limitation du risque de surchauffe	Dispositif de ventilation (résidentiel) Limitation du risque de surchauffe
Rénovations lourdes et simples	Isolation thermique	U _{max} ou R _{min}	U _{max} ou R _{min}	U _{max} ou R _{min}
	Performance à atteindre	-	-	-
	Climat intérieur	En cas d'ajout, de suppression ou de remplacement des fenêtres d'un local : - dispositifs d'amenée ou d'évacuation d'air (résidentiel) - ventilation intensive Local nouvellement créé: dispositifs d'amenée ou d'évacuation d'air (résidentiel)	Dispositif de ventilation (résidentiel) (1) Amenée d'air (résidentiel) dans les locaux où l'on remplace des châssis (2)	Amenées d'air (résidentiel) dans les locaux où les châssis de fenêtres ou de portes extérieurs sont remplacés

(1) D'application si le volume protégé de la partie ajoutée ou reconstruite est inférieur ou égal à 800 m³ et s'il ne s'agit pas d'ajouter une ou plusieurs unités d'habitation. Les exigences s'appliquent à la partie ajoutée ou reconstruite.

(2) Pas d'application pour un bâtiment dont le volume protégé est supérieur à 3000 m³, quand la structure portante du bâtiment est conservée, mais que les installations permettant d'obtenir un climat intérieur spécifique, et au moins 75 % des façades sont remplacés. [DELMOTTE C., 2008]

Le niveau E = le niveau de consommation d'énergie primaire. Ce niveau, pour les bâtiments résidentiels, tient compte : du bâtiment et des installations de chauffage, de ventilation, d'eau chaude sanitaire et de refroidissement ainsi que de l'utilisation d'une énergie durable.

Le niveau Ew = en Région wallonne, les méthodes de calcul du niveau E (identiques pour les trois régions) comprennent une différence au niveau de la dernière étape du calcul pour les bâtiments résidentiels (la valeur de référence diffère).

Le niveau Espec = en Région wallonne, un critère supplémentaire pour les bâtiments résidentiels (sans nom officiel et appelé ici consommation spécifique) est pris en compte : cette seconde expression correspond à l'exigence relative à la consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire (consommation à diviser par la surface totale de plancher chauffé).

Standard basse énergie : besoin de chauffage annuel $\leq 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{an})$

Standard très basse énergie : besoin de chauffage annuel $\leq 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{an})$

Standard passif :

- besoin spécifique de chauffage $< 15 \text{ kWh}/\text{m}^2.\text{an}$
- l'étanchéité du bâtiment doit être très performante ($n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$ sous 50 Pa (test Blower Door))
- le pourcentage de surchauffe dans le bâtiment ($> 25^\circ\text{C}$) doit être inférieur ou égal à 5%

Si actuellement, la construction passive est devenue une réalité en Belgique pour la construction de nouveau bâtiment, elle reste cependant, en rénovation et selon le type du bâtiment, parfois à coût élevé et difficile à réaliser.

3.2. La rénovation : l'enveloppe avant tout !

3.2.1. La rénovation

Dans le cas de cette étude il est intéressant de se pencher sur ce qui se fait ou devrait se faire au niveau de la rénovation du bâti existant car la rénovation de quartier passe par celle de ces bâtiments.

Lors du choix des travaux de rénovation à effectuer, il est préférable de cibler et de phaser les travaux, afin d'atteindre une qualité et une performance élevée plutôt que de disperser l'argent investi dans des demi-mesures. Une des mesures les plus importantes consiste en l'amélioration de l'isolation des parois. Si cela n'est pas encore une pratique courant contrairement à certain de nos pays voisins, on peut constater quelques obstacles comme une surestimation des performances d'isolation des habitations existantes, des obstacles urbanistiques pour l'isolation par l'extérieur, etc.

Les quartiers périurbains ont un énorme potentiel de rénovation qui peut facilement, dans la majorité des cas, atteindre de très bons niveaux de performance.

Différentes techniques d'isolation existent et sont pratiquées en Belgique comme la technique de l'isolation par l'extérieur, celle de l'isolation par l'intérieur ou encore celle du remplissage de la coulisse des murs creux (technique moins lourde à réaliser).

Quelque soit la performance voulue pour une rénovation, il y a quelques principes de bases à respecter :

- Enveloppe la plus isolée de manière continue, double vitrage basse émissivité ($U \leq 1,1$ pour

les vitres + menuiseries) ;

- Enveloppe étanche ce qui demande une certaine exigence dans la finition ;
- Système de chauffage performant et adapté (autre que la ventilation double flux sauf pour la passif et souvent pour le très basse énergie) ;
- Réduire au maximum les ponts thermiques même si certains sont encore admissibles.

Il faut se fixer certains objectifs énergétiques et durables, et ce, avant même d'entreprendre la conception d'un projet de rénovation de logement. Les objectifs dépendront du type de bâtiment à rénover et détermineront l'ampleur des travaux de rénovation. La volonté du concepteur est primordiale car cela permettra ou non :

- de travailler de manière globale en intégrant d'autres priorités que l'énergie ;
- de travailler en prenant en compte le contexte existant (environnement, social, économique) ;
- de rendre acteur les (futurs) occupants du ou des logements au processus de la rénovation ;
- afin de la conscientiser et de les responsabiliser.

Une rénovation énergétique aura un impact direct sur :

- les consommations de chauffage ;
- la sensation de confort.

Et peut s'étendre à une diminution de :

- la consommation de l'eau-chaude-sanitaire ;
- la consommation d'électricité ;
- la puissance de l'installation de chauffage.

Pour illustrer de manière plus chiffrées l'impact d'une rénovation, les fiches LEHR [Branders A., 2009] présentent des exemples de rénovations exemplaires.

Pour cibler au mieux les investissements à réaliser lors de la rénovation, il est intéressant d'effectuer un audit énergétique. Ceci permettra de mettre en évidence les performances thermiques des différentes parois du logement et la pertinence d'amélioration de celles-ci.

Il faut avant tout se focaliser sur un travail de conception c'est-à-dire, avant de penser aux systèmes dynamiques (systèmes de ventilations performants, de production d'énergie ou de production d'énergies renouvelables), il faut favoriser les caractéristiques fixes ou passives de l'ordre de la conception qui sont :

- La base pour diminuer de manière importante la demande de chauffage et donc les consommations ;
- Généralement plus durables car il est rare de refaire des travaux sur l'enveloppe dans les décennies qui suivent la rénovation ;
- Moins coûteuses, car mise en œuvre simple, matériaux simples, ...

- A contrario, les technologies associées aux systèmes dynamiques demandent un entretien, une gestion, de l'énergie et elles peuvent « tomber en panne ».

3.2.2. Rénover l'enveloppe ou la conception

La distribution et l'organisation du programme doivent être repensées en fonction de l'orientation et de l'environnement du bâtiment, en privilégiant par exemple les pièces de vie au sud et les services au nord. Il faut cependant observer que, pour les pièces de service telles les cuisines, salle de bain, ... où la température est généralement plus élevée que celle des autres pièces, plus ces pièces se trouvent en contact avec des façades, plus leurs déperditions thermiques seront importantes. La chaleur de ces pièces profitera donc moins aux pièces voisines. Il faut donc trouver un équilibre entre le confort (entre autre visuel) et les économies d'énergie envisageables.

En rénovation, la construction existante est déjà définie par ses caractéristiques. Il est important de pouvoir les identifier, afin de préserver, accentuer ou minimiser certaines propriétés physiques et dynamiques, comme l'inertie, l'étanchéité, l'isolation, la ventilation, la présence de ponts thermiques. Au cours du siècle dernier, la composition des murs extérieurs a fortement évolué : les murs «traditionnels» sont souvent constitués de matériaux massifs, épais et c'est après 1945, que ce fera la généralisation des «murs creux». Ceux-ci dissocient les fonctions porteuses et de protection contre les intempéries. L'isolation de la coulisse de ces murs creux se généralisera suite aux premières crises énergétiques.

3.2.2.1. Les murs

Les murs des habitations, de part leur surface représente l'endroit principal des déperditions thermiques du bâtiment.

L'isolation va jouer un rôle primordial pour améliorer les performances de l'enveloppe du bâtiment. Elle va permettre d'augmenter le confort thermique de l'occupant, été comme hiver, de limiter les déperditions thermiques des parois du logement et donc de limiter la demande en énergie (chauffage ou climatisation).

L'idée est de mettre en place une isolation suffisante qui dépendra du niveau de performance souhaité lors de la rénovation tout en veillant à une continuité de l'isolant (sol, mur, toiture) lors de son placement et à supprimer ou minimiser les ponts thermiques.

L'isolation du bâtiment peut être envisagée de deux manières différentes : soit l'isolation de l'enveloppe du bâtiment soit celle de pièces plus en particulier (Figure 9).



Figure 9 : L'isolation de l'enveloppe

Il existe trois techniques d'isolation en rénovation :

- L'isolation de l'enveloppe par l'extérieur ;
- L'isolation de l'enveloppe par l'intérieur ;
- L'isolation de l'enveloppe par le remplissage de la coulisse, dans le cas de murs creux.

Les avantages et inconvénients de chacune de ces méthodes sont relevés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Les différents modes d'isolation

Mode d'isolation	Avantages	Inconvénients
Par l'extérieur	<p>Suppression des risques de ponts thermiques locaux</p> <p>Protection du mur contre le gel et les fissurations</p> <p>Protection du mur contre la pénétration de la pluie battante</p> <p>Amélioration de l'aspect extérieur en cas de revêtement extérieur dégradé</p> <p>Conservation de l'inertie thermique</p> <p>Conservation des volumes et des finitions intérieures, pas de désagrément, si les locaux restent habités</p>	<p>Modification de l'aspect extérieur (demande de permis d'urbanisme)</p> <p>Solution coûteuse puisqu'elle implique un nouveau parement.</p> <p>Sur-épaisseur, parfois problématique en façade avant, sur le domaine public, et par rapport à l'alignement</p> <p>Isolations du retour de la baie, seuils remplacés, déplacement des descentes d'eau, parfois adaptation des fondations etc.</p> <p>Risque de ponts thermiques à la jonction mur-sol</p>
Par l'intérieur	<p>L'aspect extérieur est conservé (pas de demande de permis d'urbanisme)</p> <p>Le coût est généralement moins élevé que pour isolation par l'extérieur (pas toujours vrai car cela dépend du bâtiment...)</p>	<p>Ponts thermiques délicats à résoudre</p> <p>Dégradation possible du mur extérieur suite à son refroidissement et son humidification</p> <p>Risque de pourriture de structures en bois portant dans le mur isolé</p> <p>Risque de fissuration à la suite des variations thermiques du mur extérieur</p> <p>Nouvelles finitions intérieures et volumes intérieurs diminués (selon l'épaisseur d'isolant). Difficile à réaliser si les locaux restent occupés.</p> <p>Révision des installations de chauffage car risque de gel des conduites dans les murs.</p> <p>Perte d'une partie de l'inertie thermique</p> <p>Continuité du pare-vapeur difficile à assurer (risque de condensation interne)</p>

		Adaptation des tablettes de fenêtre, des huisseries de fenêtres (s'il y en a...), déplacement des radiateurs, etc.
Par remplissage de la coulisse (mur creux)	Inertie thermique conservée Technique simple et moins coûteuse que l'isolation par l'extérieur Ne modifie ni l'aspect extérieur (pas de demande de permis d'urbanisme) ni l'aspect intérieur	Limite de la valeur isolante possible à obtenir en fonction de l'épaisseur de la coulisse Risque de ponts thermiques aux interruptions de la coulisse (principalement au niveau des linteaux par exemple) Refroidissement du mur de parement (dépend de la qualité du parement) Examen préalable de la coulisse indispensable Faculté d'assèchement de la paroi extérieure du mur amoindrie

[Source : Goetghebuer Th., 2008 et Hauglustaine J.-M et al.. 2006]

Nous allons détailler et illustrer ces possibilités afin de se rendre compte des exigences de chacune. D'avance il sera très difficile de trancher et de définir le choix à faire pour la rénovation de tel type de bâti. Le cas par cas reste de rigueur et souvent, sur un même cas, différentes techniques y sont appliquées et combinées. Mais d'avance, l'isolation par l'extérieur apparaît clairement comme une solution optimale.

Isolation de l'enveloppe par l'extérieur

Dans ce cas, l'isolant est appliqué soit sur la façade existante, soit le parement de la façade est retiré (gain de place en épaisseur surtout s'il existait un faible vide (mur creux)). Il est beaucoup plus facile d'assurer la continuité de l'isolation avec cette technique. Avec cette solution, il ne faut pas trop hésiter quant à l'épaisseur de l'isolant. Généralement, l'isolant est recouvert d'un enduit servant de nouveau parement. Il est toujours possible de remettre un parement en brique ou autre. Cette technique d'isolation vaudra pour les façades non liées à la conservation du patrimoine ni à celles sujettes aux alignements (sauf si la commune est sensible aux aspects énergétiques ou si la zone de recul est dans le domaine privé (jardinet à rue)), ...
Il faut privilégier cette technique d'isolation.

Isolation de l'enveloppe par l'intérieur

L'isolation par l'intérieur n'est à envisager que lorsqu'un autre choix n'est pas possible. Dans certain cas, la conservation de certaines caractéristiques architecturales existantes (dessin de façades, matériaux, frises, moulures) demanderont une isolation par l'intérieur vu les possibles difficultés à être traitées par l'extérieur.

L'isolation par l'intérieur est souvent la seule solution lorsqu'un alignement de façade est exigé. Or en isolant par l'intérieur, le mur n'est plus réchauffé par l'intérieur et par ce fait, si la vapeur d'eau n'est pas stoppée par un pare-vapeur, elle va condenser sur le mur froid. La résolution des ponts thermiques au droit des planchers et des murs de refend devient alors complexe. Car l'isolation par l'intérieur ne garantit plus une continuité de l'isolant, créant de ce fait des ponts thermiques. Tous les endroits de jonctions devront être très étudiés.

Les matériaux les plus étanches à la vapeur doivent être disposés du côté « chaud » de l'isolant. C'est pourquoi, afin d'éviter une condensation d'eau dans le mur, un pare vapeur pourra être nécessaire lors de l'isolation d'un mur par l'intérieur. Tout dépend des matériaux mis en œuvre.

Lorsque la peau extérieure du parement est imperméable à la vapeur, l'isolation par l'intérieur ou par remplissage d'une coulisse sera toujours évitée.

Cette technique d'isolation crée certains points critiques qui demandent une attention plus particulière comme :

- la jonction mur extérieur – dalle (idem jonction mur extérieur –mur intérieur (cloison) (idéalement, interruption du plancher pour assurer la continuité de l'isolant) ;
- le cas de la jonction mur extérieur – mur intérieur (cloison) ;
- la jonction à la toiture ;
- la jonction avec sol.

Lorsque ces points critiques ne peuvent pas être traités ou ne le sont pas, une rupture locale du caractère isolant se forme caractéristique des ponts thermiques. Ces ponts thermiques sont des défauts dans la conception et/ou dans la réalisation de l'enveloppe isolante. Ils sont principalement présents aux endroits de jonctions et de raccord (fenêtre, balcon, linteau, mur-toit,...). Les surfaces à proximité des ponts thermiques se caractérisent par une température de surface inférieure à la température moyenne des parois engendrant ainsi une sensation de paroi froide et donc un inconfort. En plus, ces ponts thermiques peuvent causer de nombreux désagréments comme la condensation de l'humidité intérieure qui peut créer des développements de champignons, une surconsommation de chauffage,... Les moisissures, inesthétiques, présentent un risque sanitaire (asthme, etc.), elles dégradent tous les états de surface (peintures, plafonnage) et mettent à mal les constructions en bois. Les ponts thermiques peuvent représenter 10 % de la consommation de chauffage d'un bâtiment moyennement isolé et sont sources de pollution intérieure. Plus le bâtiment est isolé, plus ces défauts d'isolation ressortent et induisent des déperditions relativement importantes (jusqu'à 25% des déperditions totales).

En rénovation, une recherche exhaustive des ponts thermiques existants doit être réalisée au moyen des outils adéquats (thermographie, thermomètres de surface, etc.). Cela permettra d'identifier les faiblesses de la paroi. Considérant que l'impact d'un pont thermique de dimensions limitées est faible sur les consommations énergétiques en rénovation, la présence de certains ponts thermiques existant peut être tolérée si leur dimension est réduite et si leur résolution est particulièrement complexe et/ou coûteuse.

Plusieurs cas de figures où les ponts thermiques peuvent être évités sont développés sur le site d'énergie+.

L'isolation de l'enveloppe par le remplissage de la coulisse

L'isolation par le remplissage de la coulisse est une solution rapide et facile très en vogue actuellement en Grande-Bretagne notamment. Les différents aspects techniques, tels qu'un examen préalable de la coulisse, sont gérés par les sociétés spécialisées. Cet examen est réalisé au moyen d'une petite caméra glissée dans la coulisse, soit via un forage, soit via tout autre accès aisé, lors du remplacement d'un châssis par exemple. Cette technique d'isolation ne sera pas utilisée s'il y a :

- présence de nombreuses interruptions de la coulisse car cela provoquerait des ponts thermiques ;

- présence d'humidité ;
- un parement déjà endommagé par le gel (parement ne laissant pas passer la vapeur d'eau (ex : briques vernissées)) ;
- lorsque les joints sont dégradés.

Les techniques d'insufflation d'isolant dans une coulisse sont mise en œuvre par les fabricants ou des placeurs. Pour cette technique, il faut un matériau isolant répulsif à l'eau ce qui rend les isolants végétaux inadaptés.

Dans le cas d'un mur creux, mais où la coulisse est trop mince ou ne permet pas l'isolation par remplissage, il faudra alors se tourner vers un autre type d'isolation. On peut démonter le parement existant, isoler parfaitement, avec l'épaisseur souhaitée, et remettre un parement ou finition. Cela permet, en cas de problème de surépaisseur débordant sur le domaine public, de choisir un parement plus mince que le précédent, et consacrer cette différence d'épaisseur pour de l'isolation supplémentaire.

L'isolation de l'enveloppe mixte

Il est parfois délicat d'isoler par l'extérieur la façade principale. C'est pourquoi il est tout à fait envisageable, par exemple, d'isoler par l'intérieur la façade principale et d'isoler par l'extérieur la façade à l'arrière ce qui est souvent le cas dans les zones urbaines mais dans les zones périurbains et rurales à moins de vouloir conserver l'aspect originel du bâtiment, une isolation par l'extérieur sera à privilégier.

La combinaison de ces deux types de méthodes doit se faire en évitant le plus possible les ponts thermiques. Ce qui implique que les deux isolants doivent se chevaucher aux endroits des raccords entre un mur isolé par l'extérieur et un mur, une dalle ou un plafond isolé par l'intérieur.

3.2.2.2. Les ouvertures

Les ouvertures devront s'adapter et contenir l'isolant afin que celui-ci soit appliqué de manière continue. La rénovation est aussi une occasion de modifier les baies existantes. Les ouvertures ont une influence sur les gains solaires. L'orientation des fenêtres vers le sud est thermiquement plus intéressante en raison des gains solaires importants réalisés pendant la saison de chauffe. Le tableau ci-dessous (Tableau 4) reprend les pourcentages de surface vitrée recommandés en fonction de leur orientation.

Tableau 4 : Pourcentage de surface vitrée recommandé en fonction de l'orientation [Trachte S., 2009]

Orientation	Pourcentage de surface vitrée recommandé par rapport à la surface du local
Sud	> 15% Les protections solaires sont nécessaires lorsqu'on dépasse les 18%
Ouest	entre 10% et 18%
Est	entre 10% et 18%
Nord	entre 10% et 18%

Deux options s'offrent pour le traitement de la rénovation des ouvertures comme :

- La modification de baies existantes ;
- La conservation de la baie existante.

Dans ces deux cas, il y a la question du vitrage qui se pose. Car de manière générale, le châssis doit être posé dans le plan de l'isolation ou au plus près avec un retour de l'isolant dans l'embrasure de la fenêtre jusqu'au châssis. Plusieurs techniques de rénovation de fenêtre sont possibles :

- Conserver les châssis existants en les modifiant éventuellement, et intervenir sur le vitrage (remplacement du vitrage ou pose de survitrage) ;
- Remplacer le châssis avec le vitrage (favoriser le placement de double vitrage) ;
- Doubler le châssis existant par un double vitrage ce qui permet une amélioration tant énergétique qu'acoustique (avantages : les performances thermiques et acoustiques sont très élevées et le caractère de la façade est conservé).

Des protections solaires peuvent être ajoutées en cas de rénovation. Les protections solaires permettent de lutter contre les surchauffes en été et contre d'éventuels éblouissements. Elles ne seront indispensables que pour les bâtiments passifs. Il en existe de plusieurs types : les systèmes mobiles (volets roulants ou coulissants, stores, lames orientables,...), les protections solaires externes fixes ou permanentes (de types auvents, vitrages spéciaux,...), les protections solaires placées à l'intérieur et celles de type végétales.

3.2.2.3. L'étanchéité à l'air

Assurer une bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe des bâtiments est essentiel. Les infiltrations d'air dans le bâtiment essentiellement dues à des points faibles de l'enveloppe doivent être limitées car elles :

- induisent une consommation d'énergie non négligeable, puisqu'il faut, en hiver, réchauffer davantage d'air froid ;
- diminuent la qualité de l'isolation acoustique de l'enveloppe ce qui, en ville, est un enjeu de plus en plus important ;
- peuvent être la cause de condensations à l'intérieur des parois, entraînant des problèmes d'humidité, de moisissure et/ou de corrosion ;
- créent des courants d'air inconfortables.

L'étanchéité à l'air d'un bâtiment peut être mesurée par une technique appelée « Blower Door » ou « infiltrométrie ». Elle consiste à créer une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment fermé, à l'aide d'un ventilateur. Des outils tels que fumigène ou caméra thermique permettent de détecter les endroits où l'air s'infiltré au travers de l'enveloppe.

Pour assurer, la qualité de l'étanchéité à l'air d'une enveloppe, il faut améliorer :

- la qualité de la mise en œuvre des pare-vapeurs ou freins-vapeurs par l'utilisation de bandes adhésives (souder les lés et colmater les éventuels défauts ponctuels) ;

- la nature et la qualité des revêtements intérieurs en employant des enduits continus (plafonnages, enduits d'argile, à la chaux, ...) plus étanches que les revêtements discontinus constitués de panneaux, de planches,...
- la qualité des menuiseries et des joints entre les menuiseries et les baies : châssis étanches, joint entre les parois et les châssis soigneusement étanchéifié à l'aide de la combinaison d'une membrane étanche, d'un retour d'isolation et de la finition, et idéalement d'un joint en silicone complémentaire. Il faut limiter ces infiltrations donnant sur l'extérieur ou sur les locaux non chauffés ;
- le placement des conduites d'eau ou d'électricité de façon à ne jamais percer la membrane étanche ou du moins éviter un maximum ces percements ;
- la trappe de fermeture des conduits de fumée de cheminée à foyer ouvert et de hotte de cuisine, les trappes sur les combles, les portes d'entrée (éviter de la placer sur la façade exposée au vent dominant, intérêt de prévoir un sas,...),...

En pratique dans le cadre d'une rénovation, un niveau d'étanchéité de l'enveloppe à atteindre par le logement sera fixé volontairement lors de la phase de conception thermique du bâtiment à rénover (Utilisation du logiciel PEB ou PHPP). Cette valeur non réglementée (sauf pour le standard passif) sera généralement comprise entre 1 et 7,8 h⁻¹ sous une pression de 50 Pa (on recommande un n50 ne dépassant pas 1,5 pour une rénovation basse énergie).

3.2.3. Eclairer suffisamment les logements

Une rénovation durable va de pair avec une conception soucieuse des économies d'énergie et du bien-être de ses occupants. Dans cette optique, la valorisation des sources lumineuses doit accompagner cette démarche de rénovation. Comme la lumière naturelle est celle qui amène le plus de confort à l'occupant, l'éclairage naturel des espaces doit être favorisé à la lumière artificielle qui elle, est prévue pour le compléter en cas d'insuffisance et lorsque le soleil est couché. La présence d'obstacles va fortement influencer la quantité de lumière naturelle dans un local. L'architecte peut intervenir à certains niveaux afin de réduire les surfaces de châssis (châssis fixes, sans divisions, ...), éviter toute obstruction par des tentures, store, etc., préférer des protections solaires mobiles et même réglables pour éviter la réduction de l'éclairage naturel en dehors des périodes de risque de surchauffe, etc sauf au sud où les auvents horizontaux sont la solution idéale [Reiter et De Herde, 2004]. L'occupant, lui, intervient afin d'éviter l'obstruction par des objets, plantes vertes, ... placés devant les fenêtres ou encore en nettoyant régulièrement les vitres. [Massart C. et al. 2010]

Pour garantir un niveau d'éclairement naturel intéressant dans une chambre, il faut une surface nette éclairante équivalente à 15-20 % de la superficie nette de la pièce, si la fenêtre est idéalement orientée. [de Meester T., 2009]

Un éclairage adapté est nécessaire pour chaque pièce d'une habitation et dépendra de sa fonction. Il existe énormément de types d'éclairage propres aux différents locaux et aux différentes tâches visuelles. Les puissances d'éclairage dépendent fortement du type de lampe et de luminaire, des dimensions du local, de la couleur des murs et plafonds ainsi que du mobilier. [Roisin B. et al., sous presse]

Le but d'un éclairage efficace est de pouvoir agir sur la gestion différenciée des points lumineux en fonction de l'usage des locaux et de la disponibilité de la lumière naturelle. Cela peut permettre de gérer de manière distincte l'éclairage d'ambiance de l'éclairage de la tâche ou

d'intégrer la gestion en fonction de la lumière naturelle. Ceci est évident lors d'une nouvelle installation d'éclairage mais ce n'est pas toujours possible en rénovation. [Roisin B. et al., sous presse]

Cependant, il existe tout une série de solutions envisageables pour améliorer tant l'efficacité énergétique, que le confort visuel d'une installation d'éclairage existante comme le remplacement des lampes et des luminaires. Le remplacement des lampes, intervention facile à réaliser, n'a qu'un impact limité sur l'installation existante et qui n'implique pas de coûts trop importants. Le remplacement des lampes choisies par de plus efficaces permet d'améliorer l'efficacité lumineuse de l'installation de manière plus ou moins importante. De cette manière, il est également possible d'augmenter le niveau d'éclairement en utilisant des lampes fournissant un flux lumineux plus élevé que les lampes initiales. Dans ce cas, le gain énergétique est alors bien évidemment moins important mais il s'accompagnera d'un gain en confort [Roisin B. et al., sous presse] si l'espace n'était pas suffisamment éclairé auparavant.

Par exemple, l'utilisation de lampes fluocompactes à tubes nus sera conseillée pour le remplacement de lampes incandescentes dans lesquels la lampe est dissimulée par un cache opalin. La lampe incandescente sera remplacée par une lampe fluocompacte ayant une puissance avoisinant le quart de celle de la lampe incandescente remplacée.

Le tableau ci-dessous reprend les puissances des lampes incandescentes généralement utilisées dans les applications résidentielles ainsi que les puissances des lampes fluocompactes à utiliser lors du remplacement. Les gains énergétiques et financiers sont calculés à raison d'une utilisation de 1.000 heures par an (soit un peu moins de 3 heures de fonctionnement par jour) et d'un coût du kWh de 17 centimes d'euros. L'achat d'une lampe énergétiquement efficace de qualité est ainsi rentabilisé à peu près en une année, sur base d'un coût de 8 à 9 €. [Roisin B. et al., sous presse]

Tableau 5 : Le remplacement des lampes incandescentes par des fluocompactes : comparaison de leurs puissances [Roisin B. et al., sous presse]

Puissance avant remplacement	Puissance après remplacement	Gains énergétiques (1.000h par an)	Gains financiers par an (0,17€ par kWh)
100 W	23 W	77 kWh	13,1 €
75 W	18 W	57 kWh	9,7 €
60 W	15 W	45 kWh	7,7 €
40 W	10 W	30 kWh	5,1 €

Lorsque les luminaires possèdent une lampe incandescente visible et/ou de forme particulières (lampes flammes, etc.), il est possible de trouver sur le marché des lampes fluocompactes ayant un globe reproduisant la forme de la lampe fluorescente (pour obtenir la puissance équivalente à installer, la puissance sera toujours divisée par 4).

Dans le cas des lampes halogènes de formes particulières (lampes capsules, spots 230 ou 12 V, mini-tube) où leurs soquets sont incompatibles avec la majorité des lampes fluocompactes, il faudra alors s'orienter vers l'utilisation de lampes halogènes IRC à recouvrement infrarouge (IRC - Infra-Red Coating). Ces lampes présentent un rendement supérieur et permettent, à flux équivalent, de réduire la consommation de 25 à 30 % par rapport à une incandescence classique.

Les torchères halogènes indirectes sont munies de lampes halogènes ayant une mauvaise efficacité lumineuse et, d'autre part, elles assurent un éclairage de type indirect ce qui induit

d'importantes pertes lumineuses. Ce sont des luminaires, munis de lampes de grandes puissances (entre 300 et 500 W) qui sont parmi les plus énergivores et qui doivent être banni. Exemple : pour une heure de fonctionnement par jour d'un luminaire de ce type, la facture énergétique s'élève à 31 € par an ! [Roisin B. et al., sous presse]

Le remplacement des luminaires a un impact généralement plus important sur le confort visuel et le budget que le remplacement des lampes. Une telle opération est relativement facile dans la mesure où aucune modification du câblage électrique ni des systèmes de commande des luminaires n'est nécessaire. Il faut privilégier la mise en œuvre de luminaires munis de tubes à décharge de type linéaire ou circulaire. Comme les tubes TL (linéaires) ont souvent une taille imposante, il est possible de s'orienter vers des luminaires munis de lampes circulaires ou munis de lampes fluocompactes. Opter pour des modèles munis de lampes à ballast externe est conseillé car ces lampes ont une meilleure efficacité lumineuse que celle à ballast intégré et présentent un coût de remplacement inférieur à ces dernières. Cependant, lors du remplacement de la lampe, il sera impossible de retourner vers l'ancienne technologie et de remettre une lampe incandescente à visser car les luminaires à ballast externe imposent une connectique particulière au niveau des lampes.

Lors du remplacement de luminaires par des luminaires énergétiquement efficaces, les éclairagements conseillés sont détaillés via leurs puissances dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Puissance conseillée par pièce pour une installation munie de luminaires efficaces [Roisin B. et al., sous presse]

Pièce et activité	Puissance conseillée [W/m²]
Hall d'entrée, couloirs et escaliers	2 - 3
Toilettes	6 - 10
Salle de bain	6 - 9
Cuisine	6 - 12
Séjour, salon	3 - 6
Salle à manger	3 - 5
Chambres	3 - 5
Buanderies, débarras, caves, garage, etc.	2 - 3

Des luminaires avec interrupteurs intégrés sont intéressants lorsqu'un éclairage spécifique d'une tâche et un éclairage séparé sont préconisés (pour le luminaire placé au-dessus du plan de travail de la cuisine par exemple). L'utilisation de luminaires intégrant un système de détection de présence intégré au luminaire est une solution intéressante dans certaines situations (couloirs, cabinet de toilette, etc.). [Roisin B. et al., sous presse]

3.3. La rénovation des systèmes

Lors de lourdes rénovations, les installations techniques doivent le plus souvent être remplacées intégralement car elles ne répondent plus aux besoins du bâtiment rénové. Pour cela, la rénovation du bâtiment doit se faire avant les installations techniques dont le choix découlera de la rénovation de l'enveloppe. Dans ce cas, les mesures à appliquer sont sensiblement les mêmes que pour les nouvelles constructions.

3.3.1. Le chauffage

La qualité d'une installation de chauffage est définie par quatre éléments qui peuvent chacun être améliorés :

- le système de production de chaleur ;
- la distribution ;
- le système d'émission ou les corps de chauffe ;
- la régulation.

Suite à une rénovation importante, il faudra déterminer si le système de chauffage devrait être changé, ou non.

3.3.1.1. Conserver le système de chauffe en place

A la suite des travaux d'isolation, l'émission de chaleur devient surdimensionnée. Cela permet de réduire les températures de chauffe ce qui garantit un meilleur rendement de l'installation. Par contre, la problématique d'un surdimensionnement trop important de la production de chaleur existante, est que l'installation ne permet plus une régulation efficace et confortable, (phénomène du « yoyo ») car elle n'est plus adaptée à la demande de chaleur et qu'elle n'est pas faite pour s'y adapter.

Exemple : Pour une très forte isolation mise en place avec soin, un poêle au bois traditionnel sera nettement surdimensionné, et engendrera rapidement des surchauffes.

Dans le cas d'une chaudière existante, il est bien sûr possible de procéder à toute une série d'améliorations telles qu'améliorer le réglage de la combustion, la régulation du brûleur, la régulation en cascade des chaudières ou encore de diminuer la puissance du brûleur, remplacer le brûleur, colmater et réisoler la chaudière, diminuer la température de fonctionnement des chaudières. Mais parfois, et surtout après une rénovation assez importante de l'enveloppe, il est plus réaliste d'envisager le remplacement complet de la chaudière plutôt que tenter des améliorations partielles. Tout dépend évidemment de l'âge de la chaudière et de ses performances.

3.3.1.2. Les nouvelles technologies de chauffage

Le chauffage peut être un poste d'économie d'énergie important et le remplacement des chaudières ou l'amélioration de la régulation peut assurer de sérieuses économies. Surtout si cela s'effectue après l'isolation de l'enveloppe, ce qui permet de diminuer la puissance de la nouvelle chaudière.

Le remplacement d'une chaudière doit être intégré dans une réflexion globale (cheminée ?, régulation ?...), réflexion nécessaire si on veut que la nouvelle installation fonctionne de manière optimale. Il ne s'agit pas d'un simple échange standard avec une nouvelle chaudière de même puissance et plus moderne. Cette opération importante, doit être l'occasion de repenser l'entièreté de l'installation de production et l'installation de régulation. Il n'est pas évident de trouver les critères de choix adéquat pour le remplacement d'une chaudière.

En atteignant une performance inférieure ou égale, par exemple, à 60 kWh/m².an (niveau basse énergie), les émetteurs comme les radiateurs deviennent surdimensionnés par rapport à la nouvelle demande et ils permettent donc d'utiliser des systèmes de chauffage à basse température telles les chaudières basse (ou très basse) température, les pompes à chaleur, ...

Les installations de chauffage évoluent au fil du temps. Les innovations proposent actuellement

des chaudières plus économes et respectueuses de l'environnement. Voici un aperçu des différentes technologies actuelles. (Source : IBGE)

- Chaudières à condensation (mazout et gaz) ;
- Chaudières à basse température (mazout et gaz) ;
- Brûleur Low-NOx (mazout et gaz) ;
- Brûleur à air pulsé (gaz)
- ...

3.3.2. La ventilation

Les débits de ventilation minimaux qui doivent pouvoir être assurés et qui garantissent la qualité de l'air d'un bâtiment résidentiel, sont définis par la norme belge NBN D50-001 (norme européenne EN 13779), selon le type de local et sa surface. Ils ont été définis sur base de la concentration de polluants dans l'ambiance. Cette norme définit également les 4 systèmes de ventilation présentés ci-dessous dans le tableau. Leur mise en œuvre conforme aux prescriptions de la norme est un gage de qualité de l'installation.

Tableau 7 : Les différents systèmes de ventilation

Système de ventilation*	Locaux de travail (bureaux, atelier) ou de vie (séjours, chambres)	Locaux humides (sanitaires, vestiaires, salles de bain, cuisine, ...)
Système A - Ventilation naturelle	Amenée d'air, par exemple par des grilles réglables dans les menuiseries.	Evacuation par des cheminées verticales.
Système B** - Ventilation simple flux par pulsion mécanique	Pulsion mécanique.	Evacuation par des cheminées verticales.
Système C - Ventilation simple flux par extraction mécanique	Amenée d'air par des grilles réglables (dans les menuiseries).	Extraction mécanique.
Système D - Ventilation double flux	Pulsion mécanique.	Extraction mécanique.

* Dénominations utilisées dans le logement

** Rarement mis en œuvre car plus contraignant que le système C (passage de gaines et de cheminées).

[Energie +, 2010]

Plus l'isolation thermique et l'étanchéité seront efficace, plus grande sera la proportion de perte énergétique par ventilation par rapport à l'énergie totale de chauffage. Il est donc utile de prévoir un récupérateur de chaleur associé à la ventilation mécanique double flux. Le rendement de l'échangeur de chaleur ou récupérateur de chaleur se définit par le pourcentage de l'énergie récupérée, et transmise de l'air extrait du bâtiment à l'air frais pulsé. Les rendements annoncés sont aux alentours de 86%.

En rénovation, il n'est pas toujours possible d'intégrer une ventilation double-flux (système D) car cela implique :

- une entrée/sortie d'air et un groupe de pulsion/extraction d'air (+ le by-pass du

récupérateur) ;

- l'intégration de gaines et conduits à travers le bâtiment ;
- des bouches de pulsion et d'extraction.

L'utilisation de systèmes mécaniques, système C ou système D, est généralement privilégiée mais la ventilation naturelle est envisageable jusqu'à +/- K30 sous certaines conditions. Car une ventilation naturelle n'est plus un choix logique lorsqu'un bâtiment est fortement isolé. Il est donc possible d'atteindre un niveau performant d'isolation (le niveau basse énergie, par exemple) sans pour autant passer par un système de ventilation mécanique. Tout dépend des efforts déployés ailleurs.

Chauffer un bâtiment au moyen de l'air de ventilation demande un débit élevé et prend de la place ! Pour des niveaux très basse énergie ou passif, il est possible de chauffer le bâtiments au moyen de l'air de la ventilation. Mais, en atteignant un niveau d'isolation basse énergie (≤ 60 kWh/(m².an)), il semble difficile de chauffer par la ventilation et un système de chauffage sera toujours nécessaire (radiateurs) et selon les projets, il sera possible de le réduire.

Dans les logements, le recours à la climatisation peut être évité par une bonne conception du bâtiment et des occupants responsables. Il faut savoir mettre en place un refroidissement naturel par :

- une ventilation intensive couplée à une forte inertie et des protections solaires, ce qui améliore sensiblement le confort d'été ;
- de bonnes habitudes : ouvrir les fenêtres la nuit en été et les refermer la journée si la température extérieure est plus élevée qu'à l'intérieur, utiliser les protections solaires avant que la surchauffe ne s'installe.

3.3.2.1. Comment améliorer la distribution

Afin d'améliorer le réseau de distribution, quatre interventions sont possible [Energie +, 2010] :

- la limitation de la longueur des conduites (pas toujours possible en rénovation) ;
- l'isolation des conduites de distribution ;
- l'équilibrage de la distribution (le placement de vannes thermostatiques, placement et réglage correct des vannes d'équilibrage, équilibrage de l'installation par des professionnels,...) ;
- la réduction du débit des circulateurs par la mise en œuvre de circulateurs modulants.

3.3.2.2. Comment améliorer les corps de chauffe

Plusieurs interventions sont possibles pour améliorer les corps de chauffe [Energie +, 2010] :

- garder les anciens radiateurs surdimensionnés en fonte ou autres matériaux qui peuvent fonctionner avec de l'eau à faible température (40 à 50°) et qui suffiront étant donné que la demande de chauffage a été limitée par l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment (parfois, élimination de certains corps de chauffage devenu surnuméraire) ;
- isoler les allèges derrière les radiateurs ;
- dégager les corps de chauffe (dans une alcôve ou derrière un cache-radiateur, le radiateur ne fonctionne pas dans des conditions optimales) ;
- remplacer les corps de chauffe classiques (radiateurs) par des systèmes de rayonnement

- par le sol (chauffage à eau par le sol) sauf dans le cas d'une bonne orientation ;
- diminuer la température des chauffages à air chaud.

3.3.3. L'eau chaude sanitaire

L'optimisation du système de production d'eau chaude sanitaire dépend fortement du système de chauffage existant. En rénovation, il faut essayer de tendre vers la situation suivante [Energie +, 2010] :

- En général, choix d'une position centrale pour la production, voire décentralisée si un point de puisage est trop éloigné de la chaufferie;
- la limitation du volume de stockage avec une isolation maximale ;
- la limitation des boucles de distribution avec une isolation maximale ;
- le recours à une source d'énergie renouvelable, lorsque c'est faisable.

Il est avantageux pour limiter les pertes sur le réseau de distribution, de positionner la production de manière centrale, à proximité des points de puisage (cuisine et salle de bains) qui eux-mêmes doivent être regroupés l'une à côté de l'autre ou l'une au-dessus de l'autre. Si la salle de bain est très éloignée de la chaufferie centrale, un système décentralisé peut être envisagé afin de produire localement l'ECS par un système de production d'eau chaude par exemple à ventouse, s'il y a le gaz.

Dans les logements collectifs, certains points de puisage sont fortement éloignés de la production centrale, il faut favoriser une production décentralisée d'ECS, soit une production locale par appartement : chauffe-eau instantané au gaz ou accumulateurs électriques. Ceci permet d'augmenter le confort grâce à une diminution du temps d'attente et une diminution des pertes (pertes de l'eau chaude «qui reste» dans les tuyauteries). Ce poste important est relié à un appoint qui peut être au gaz naturel, au mazout et, en dernier recours, à l'électricité. Il est souvent relié au système du chauffage central.

Le chauffage de l'eau chaude sanitaire (ECS) devient, après une rénovation performante, un point clef de la consommation d'énergie du bâtiment. Pour palier à cela, l'eau chaude sanitaire peut être couplée à des panneaux solaires thermiques pour préchauffer l'eau du boiler.

Remarquons que la première économie d'énergie en matière d'eau chaude sanitaire est d'en limiter la consommation (pompeau de douche à débit réduit, par exemple).

3.4. Potentiel des énergies renouvelables

Les énergies renouvelables deviennent davantage envisageables lorsque les besoins de chaleur diminuent. Lors de rénovation importante de l'enveloppe, la priorité doit être laissée à l'isolation. Le système de chauffage pourra dépendre intégralement ou non d'énergie renouvelable. Ces énergies en pleine expansion offrent de plus en plus de possibilités. Nous en aborderons quelques-unes. [de Meester T., 2009]

3.4.1. Le pompe à chaleur une solution pour le chauffage

Cette technologie devient une solution envisageable après une rénovation assez performante (à partir du basse énergie par exemple) car le besoin de chaleur est beaucoup moins important et il devient possible de valoriser la chaleur gratuite présente dans l'environnement. Si par

l'isolation, on a pu réduire la puissance de chauffage de 60 %, les anciens radiateurs peuvent fonctionner avec une température d'eau de 50°C par -10°C extérieur ce qui les rend accessible à la pompe à chaleur. Celle-ci peut également être combinée à un plancher chauffant. Il existe quatre grandes familles de pompe à chaleur dont seul la première est la plus réaliste en rénovation :

Les pompes à chaleur aérothermiques

Les pompes à chaleur air/air ou encore air/eau (PAC aérothermique) sont davantage indiquées car elles sont moins chères et elles affichent d'assez bons rendements avec un COP saisonnier de +/- 2,5 - 3,5. La source froide est l'air extérieur ou l'air extrait du bâtiment (appelée VMC double flux thermodynamique) et elle se combine à l'intérieur soit avec une ventilation mécanique dans le cas air/air soit avec un plancher chauffant ou des radiateurs. Elles peuvent donc être adaptées à des réseaux de distribution existants lors du remplacement d'une chaudière.

La géothermie horizontale

Ces pompes à chaleur, plus performantes, sont les sol/air ou sol/eau avec un COP saisonnier de +/- 3 - 4,5 mais ce sont également les plus chères. Elles ne sont pas faciles à intégrer en rénovation car elles impliquent une rénovation lourde avec le retournement du jardin. Elles nécessitent un raccordement à l'extérieur avec des sondes géothermiques horizontales (serpentins parcourant le jardin à +/- 1,5 m de profondeur) ou encore verticales.

La géothermie verticale (+/- jusqu'à 100 m)

Le principe de la géothermie est toujours de valoriser les calories du sol ou de l'eau des nappes par le biais de réseaux de capteurs, de sondes ou de forages. L'avantage de ce système est de profiter d'une source de chaleur à une température à peu près constante tout au long de l'année mais la réalisation d'un forage exige un minimum de place et une bonne accessibilité. De plus la mise en œuvre (coûts d'étude et de mise en œuvre) du système est assez coûteuse.

Les puits canadiens

Cette technique qui accompagne les systèmes de ventilation mécanique B ou D, consiste à préchauffer l'air de ventilation en hiver ou à le rafraîchir, en été, en le faisant passer dans un conduit enterré (sur 30 à 50 m à 2-4 m de profondeur). Les puits canadiens permettent une légère économie d'énergie supplémentaire (5-10% d'économie supplémentaire sur la consommation totale de chauffage). Il s'agit donc de mesures « de second ordre », d'autant plus que leur mise en œuvre est difficile en milieu urbain. Le puits améliore très peu l'efficacité énergétique de l'ensemble d'une installation avec récupérateur. Et pour des rénovations performantes, l'investissement est beaucoup plus élevé qu'en construction car il faut placer tout le conduit dans la terre. Cela demande également beaucoup d'espace et de faire attention à l'étanchéité à l'eau car un puits canadien non étanche est inutilisable.

Actuellement on trouve déjà les « puits canadiens » de deuxième génération possédant plus d'avantages. Il s'agit des tubes à eaux glycolées. Le principe est le même, dans ce cas c'est un serpentín rempli d'eaux glycolées qui parcourt le sol et qui va, au moyen d'un échangeur, préchauffer ou rafraîchir l'air entrant. La difficulté d'intégration en rénovation reste présente et pour les mêmes raisons.

3.4.2. La biomasse un solution pour le chauffage

La biomasse regroupe un ensemble des matières organiques d'origine végétale ou animale comme le bois, le colza, les betteraves, les déchets agricoles et organiques des ménages, des entreprises agro-alimentaires... ainsi que les gaz qui peuvent être captés dans les décharges. Ces matières organiques permettent la production d'énergie. En Belgique, la biomasse représente la première source d'énergie renouvelable. Cependant, cette solution n'est pas généralisable, il n'y a pas assez de biomasse pour que tout le parc immobilier soit chauffé à la biomasse.

Plusieurs système existe comme les chaudières ou poêles à granulés de bois (ou pellets), les chaudières bois, ... Attention toutefois au stockage qui peut prendre beaucoup de place.

Exemple : les chaudières à granulés de bois (ou pellets) ont un bilan d'émission de CO₂ réduit, tout en maîtrisant les autres émissions polluantes. Ce combustible peut être considéré comme renouvelable, pour autant que la forêt dont le bois est issu soit gérée de manière durable et qu'elle soit proche.

3.4.3. Le solaire thermique

Les capteurs solaires thermiques permettent de chauffer un fluide circulant au travers d'eux. Ce fluide transmet sa chaleur à l'eau chaude utilisée dans le logement. Une chaudière de chauffage central branché sur le ballon de stockage d'eau chaude (= ballon bi-énergie) ou un chauffe-eau instantané gaz situé en aval du ballon, ou des résistances électriques doivent assurer le relais en cas d'absence ou d'insuffisance de soleil. [IBGE, 2007]

Dans le cas des installations domestiques individuelles, l'installation est généralement dimensionnée pour couvrir 50 % à 60 % des besoins annuels en eau chaude. Dans le cas d'installations plus importantes (logement collectif par exemple), un optimum économique se situe souvent entre 20 et 40 %.

En rénovation, les capteurs peuvent être installés de plusieurs manières : montage en superposition de toiture lorsque la couverture de toiture est conservée, montage intégré à la toiture lorsque la couverture de toiture est remplacée ou encore montage sur terrasse ou toiture plate.

L'orientation optimale est idéalement entre le sud-est et le sud-ouest : optimale, orientée au sud et l'inclinaison optimale est de 25 à 60° par rapport à l'horizontale : optimum à 35°C en été et à 50-60 °C en hiver.

Attention aux éventuelles ombres portées par l'environnement !

Les principaux types de capteurs sont :

- Les capteurs plans, les plus connus ;
- Les capteurs tubes sous vide.

Les capteurs tubes sous vide ont un meilleur rendement que les capteurs plans surtout en hiver. Evidemment, ce type de capteur est plus onéreux.

La qualité d'une installation solaire dépend de la qualité des capteurs mais aussi du dimensionnement de l'installation. On dimensionne en général le stockage solaire en prévoyant

50 à 80 l par m² de capteur et de 1,3 à 1,7 fois la consommation journalière d'eau chaude (30 l à 60°C par jour par personne en moyenne). Ci-dessous des exemples d'installation domestique visant l'optimum technico-économique (source : Soltherm) :

Pour un ménage de *	Surface de capteurs	Volume de stockage	Energie produite **	Energie économisée***
2 à 3 personnes	Env. 4 m ²	Env. 200 l	Env. 1 200 kWh/an	Env. 1 600 kWh/an
4 à 5 personnes	Env. 5 m ²	Env. 300 l	Env. 1 600 kWh/an	Env. 2 200 kWh/an
6 à 7 personnes	Env. 7 m ²	Env. 400 l	Env. 2 300 kWh/an	Env. 3 100 kWh/an

* pour une consommation d'eau chaude de 45 litres/pers/jour à 45°C.

** fraction solaire produite : 55 %.

*** avec un système d'appoint ayant un rendement annuel de 75 % (ex : chaudière avec ballon de stockage).

Un appoint reste nécessaire afin d'assurer de l'eau chaude en suffisance toute l'année. Il est donc nécessaire de prévoir un appoint qui peut être :

- une chaudière de chauffage central branché sur le ballon de stockage d'eau chaude (ballon bi-énergie).
- un boiler instantané gaz situé en aval du ballon.

Les appoints électriques sont à éviter vu le mauvais rendement moyen des centrales de production électrique et le prix élevé de l'électricité.

3.4.4. L'électricité

L'électricité verte est une possibilité mais sa production reste marginale face à la production des énergies nucléaires ou fossiles. Ces énergies solaires, géothermiques, éoliennes, marée-motrices, hydrauliques devront encore être développées. Les énergies éoliennes et solaires sont des énergies non constantes et elles ne peuvent de ce fait, pas suffire. Des installations hydroélectriques peuvent être utilisées comme stockage d'énergie et comme tampons, amortissant par là, les creux ou pic de la production solaire ou éolienne. [de Meester T., 2010]. Trois de ces énergies sont développées ici car elles peuvent être susceptibles de s'intégrer à des rénovations.

Le photovoltaïque

Les installations photovoltaïques permettent d'approvisionner en électricité, le réseau électrique du bâtiment et le réseau général en profitant de l'énergie du soleil. Il est possible aussi d'avoir recours à des batteries mais elles demandent une place de stockage, ont une faible durée de vie (6 ans), sont sources de pollution en fin de vie, et leur rendement est faible (perte de 50 % de la production). C'est pourquoi, il faut privilégier les systèmes en réseau ce qui, accessoirement, facilite le dimensionnement. [de Meester T., 2010]

La quantité d'énergie produite par une installation photovoltaïque dépend de plusieurs paramètres : la surface de l'installation, son orientation, l'inclinaison des cellules, l'intensité du rayonnement solaire (fonction de la période de la journée et de l'année), la couverture nuageuse, l'ombrage créé par des obstacles (à proscrire), la pollution de l'air, et le degré d'encrassement du capteur.

Les différents éléments à prendre en compte afin de définir la qualité des cellules photovoltaïques sont :

- Le rendement des cellules : des cellules monocristallines sont plus performantes que des cellules multicristallines qui sont elles-mêmes plus performantes que des cellules amorphes. Exemple : selon le type de cellule la puissance d'un module de 1 m² peut varier de 100 à 170 W sous un ensoleillement de 1000 W soit un rendement de 10 à 17 % ;
- La pérennité des cellules : la plupart des fabricants de cellules au silicium cristallin garantissent un maintien du rendement de leur matériel à un minimum de 85 % du rendement nominal pendant 25 ans. Pour le silicium amorphe, les garanties sont plutôt de l'ordre de 15 ans ;
- Les conditions de température des capteurs : si les cellules sont chaudes, le rendement diminue. De ce fait, un espace de 5 cm min doit être prévu sous le capteur pour assurer son refroidissement.
- ...

L'inclinaison et l'orientation vont influencer le rendement des cellules. Les positions offrant au moins 90 % du rendement optimal sont une orientation entre le SE et le SO. Une orientation sud et une inclinaison de 30 à 35° par rapport à l'horizontale offre un rendement maximum. Cependant, la position horizontale ou verticale et l'encrassement des capteurs doit être évitée en raison du faible rendement des cellules ainsi que le positionnement des cellules photovoltaïques dans l'ombre de bâtiments voisins, de la végétation, etc. En effet, en présence d'une ombre, une cellule photovoltaïque ne sait plus produire de courant et, dès que sa surface se trouve à l'ombre, le rendement des capteurs chute. Comme les cellules sont reliées entre elles en série, si le courant ne passe plus dans l'une d'elles, il ne circulera plus non plus dans les autres. Ces panneaux peuvent s'intégrer de diverses manières : posé dans le plan d'une toiture inclinée ou sur support en terrasse ou toiture plate mais aussi sous forme de tuiles ou d'ardoises (une perte de rendement est cependant causée par l'échauffement de l'espace entre les cellules et la sous toiture), sous forme de protections solaires, ...

La production d'électricité des capteurs est très inégalement répartie au long de l'année puisqu'elle varie de 0,6 kWh par jour en moyenne en décembre à 4,1 kWh en juin. Notons qu'1m² de capteurs a une puissance maximale de 100 à 170 W sous 1000 W incident et a une production annuelle de 70 à 80 kWh/an. Le surplus de la production électrique sera revendu et injecté sur le réseau au moyen d'un compteur bidirectionnel auquel l'installation doit être raccordée. Celui-ci permet de comptabiliser l'énergie produite et d'obtenir les certificats verts.

La cogénération

La cogénération assure une production simultanée de l'énergie électrique et thermique. Cette production d'énergie électrique est réalisée par un moteur à gaz ou diesel ou bio combustible, par une turbine à gaz ou par une turbine à vapeur. La chaleur est récupérée dans le circuit de refroidissement du moteur et dans les gaz d'échappement. La chaleur est valorisée sous forme d'eau chaude envoyée dans le bâtiment. Illustration : en consommant 1000 kWh d'énergie primaire, une unité de cogénération au gaz, avec un rendement électrique de 35 % et un rendement thermique de 53 %, va produire 350 kWh d'électricité et 530 kWh de chaleur ... entre

15 et 20 % d'énergie primaire sont économisés par rapport à la production séparée de ces mêmes quantités de chaleur et d'électricité.

La cogénération s'adresse à des bâtiments ayant une consommation de chaleur importante et la plus continue possible durant l'année (ex : eau chaude sanitaire d'un hôpital). Elle peut être envisagée pour de grandes échelles comme celle d'un quartier. Lorsque le moteur thermique a une puissance inférieure à 50 kW, il s'agit de micro cogénération. Celle-ci est très attendue au niveau domestique... Le générateur produit de l'électricité qui peut être utilisée sur place ou revendue au réseau de distribution (+ certificats verts). Les dimensions d'une unité de cogénération, son niveau de bruit et ses émissions de gaz sont comparables à ceux d'une chaudière domestique. [de Meester T., 2010]

Les éoliennes

L'éolien présente un très grand potentiel de progression. Cependant, à plus long terme, avec les progrès technologiques et l'abaissement des coûts de production, le photovoltaïque pourrait prendre une part de plus en plus significative dans le panel énergétique wallon [<http://energie.wallonie.be>].

L'installation d'une éolienne représente un certain investissement qui est loin d'être négligeable [Energie +, 2010]. Un projet d'implantation d'une ou plusieurs éoliennes doit être pertinent tant d'un point de vue environnemental qu'au niveau économique. Même si cela apporte une indépendance face à la fluctuation des prix des énergies fossiles. Notons que d'un point de vue de la rentabilité, il est intrinsèquement plus intéressant d'investir en commun dans un grand projet plutôt que de multiplier les initiatives séparées. Cependant, l'implantation d'une ou plusieurs éoliennes doit satisfaire à une série de contraintes issues de domaines variés comme des contraintes urbanistiques, environnementales ou encore d'interaction avec les ondes électromagnétiques ... Il faut pouvoir répondre à toutes les contraintes. Et, plus le projet est ambitieux en taille, plus les contraintes à respecter sont sévères ou plus la justification de leur respect doit être approfondie. A l'autre extrême, on trouve les projets de petites éoliennes où les contraintes sont relativement limitées.

Si l'objectif est de répondre à la demande d'électricité d'un ou plusieurs bâtiments, d'autres approches que l'éolien peuvent être pertinentes, voire prioritaires. Il faut avoir une idée claire sur la rentabilité de son projet et une parfaite maîtrise de sa consommation énergétique. Il faut donc aussi connaître les ressources d'énergie éolienne dont on dispose (via une campagne de mesure sur site ou au moyen de logiciels de simulation). Car la puissance instantanée du vent qui traverse la surface balayée par l'éolienne dépend du cube de la vitesse du vent (en amont de l'éolienne). Cela implique que si la vitesse double, la puissance instantanée du vent est multipliée par huit. L'éolienne dispose alors de huit fois plus de puissance de vent à convertir en électricité. D'où le grand intérêt de placer son éolienne sur un site venteux. La pertinence énergétique du projet dépend fortement du potentiel de vent du site d'implantation. Ce potentiel va donc aussi influencer la viabilité économique du projet. Et en l'absence de sites venteux, d'autres sources d'énergies renouvelables seront peut-être plus indiquées.

L'intérêt de l'éolien peut être illustré avec un exemple repris par Energie+ qui compare petit éolien et solaire photovoltaïque de moins de 5 kWc pour le régime de CV (certificats verts) d'application en juin 2010 (voir sur le site pour les détails de l'exemple). Il arrive à deux constatations :

1. Le petit éolien comparé au photovoltaïque a une production fortement dépendante du

potentiel local du vent. Cela se traduit par une rentabilité qui varie largement avec le nombre d'heures de fonctionnement équivalentes à puissance nominale. Le photovoltaïque a une production qui dépend des conditions locales, mais dans une nettement moindre mesure. Une production moyenne de 850 kWh/kWc par an a été considérée. La conclusion est que l'intérêt d'investir dans le petit éolien dépend directement du potentiel local de vent et du bon dimensionnement de son éolienne de telle sorte qu'elle fonctionne le plus de temps possible proche de la puissance nominale. Néanmoins, il paraît peu probable de pouvoir faire tourner une éolienne domestique proche de 2 000 heures efficaces. A l'heure actuelle, le petit éolien est intrinsèquement moins performant économiquement que d'autres énergies renouvelables.

2. On voit que le régime de CV (certificats verts) est nettement plus favorable pour le solaire photovoltaïque que pour le petit éolien. Dans ces conditions, alors que l'on n'a même pas encore tenu compte des primes, subsides et réductions fiscales, on voit que la filière petit éolien aura du mal à décoller.

3.4.5. Gestion, régulation

Toute rénovation visant des économies d'énergie doit assurer une bonne gestion et une bonne régulation de(s) installation(s) (de chauffages, de ventilation, etc.). Cela implique que l'habitant sache employer au maximum sa nouvelle installation et la programmer pour l'adapter aux besoins de l'habitation.

Cependant, si les occupants ne peuvent pas gérer cela eux-mêmes, il faut envisager une automatisation ou une gestion externe. Afin de ne pas entraver les performances et la précision qui sont nécessaires au bon fonctionnement de l'installation. Dans le cas du logement locatif (et en particulier du logement social), il faut expliquer aux locataires installés le fonctionnement des nouveaux équipements qui seront mis en place et les convaincre de leur intérêt ce qui n'est pas toujours évident !

La régulation du chauffage va permettre d'adapter le chauffage aux réels besoins des personnes, au moyen de vanne thermostatique, de thermostat d'ambiance (avec fonction hors gel), de sondes de température extérieure, de régulation jour/nuit et de programmation hebdomadaire (semaine/week-end) et pour les vacances (avec date de retour). Le placement d'une régulation correcte sur une installation non régulée (c'est-à-dire sans ralenti nocturne et sans contrôle précis de la température intérieure) permet 30 % d'économie sur la facture annuelle de combustible. Le bâtiment peut également se décomposer en différentes zones en fonction de la chaleur attendue dans celle-ci. Dans cette logique, les chambres ne réclament pas le même niveau de température que la salle de bain par exemple. Cela peut être régulé au moyen de vannes thermostatiques. Ces vannes thermostatiques permettront également de réguler la température en évitant de surchauffer certaines pièces puisqu'elles limitent la puissance des corps de chauffe dans les locaux.

La Gestion Technique Centralisée (GTC) peut se révéler beaucoup plus pratique pour de grands bâtiments. [Energie+, 2010 et de Meester T., 2009]

3.5. Environnement et développement durable

Afin de répondre à une réflexion globale, l'intégration de l'environnement au projet de rénovation, complète bien celle-ci. L'environnement et l'écologie apporte un regard sur les questions liées à la gestion de l'eau, des matériaux, des déchets, ou encore à la flexibilité du bâtiment. [Trachte S., 2009 et de Meester T., 2009 (pour toute la suite du point 3.5)]

3.5.1. L'eau :

La construction se doit de limiter son impact sur le cycle de l'eau et sur son écoulement (ruissellement, infiltration dans le sol,...). La gestion de l'eau peut se développer selon deux points de vue : par une utilisation économe et rationnelle (comportement, tuyauterie, robinetterie et appareils sanitaires adaptés) et/ou par la valorisation de l'eau de pluie : la réaffectation ou le placement d'une citerne et d'un groupe hydrophore.

Le type de toiture retenue va déterminer les possibilités de récupération de l'eau car tous ne permettent pas de récupérer la même quantité d'eau de pluie (voir tableau ci-dessous) et certains sont à éviter afin de maintenir une bonne qualité d'eau.

Tableau 8 : Récupération de l'eau de pluie en fonction de la nature de la toiture

Type de toiture	Taux de récupération
Toit plat recouvert de gravier	60%
Toit plat recouvert de matières synthétiques ou bitume	70 à 80%
Toit plat recouvert de végétation extensive	50 à 70%
Toit plat recouvert de végétation intensive peu élaborée	30 à 40%
Toit plat recouvert de végétation intensive (jardin suspendu)	10 à 20%
Toit en pente recouvert de panneaux ou de tuiles	75 à 95%
Toit en pente recouvert de végétation	25%

Les citernes

Une citerne permet de récolter les eaux des toitures et des autres surfaces imperméables. Elle permet également de jouer un rôle de tampon lors de grosses averses par un système de deux niveaux de trop pleins, retardant le déversement rapide de grandes quantités d'eau dans les rivières et les égouts, et évitant ou diminuant leurs crues. Cette eau récoltée peut être utilisée dans le bâtiment.

En moyenne, en Belgique, la consommation moyenne en eau s'élève à 115 litres par jour et par personne (source www.vivaqua.be), ou encore 42 m³ par an et par personne (soit 460 litre/par jour pour une famille de 4 personnes). Les citernes permettent 3 options de gestion d'eau :

- Utiliser cette eau pour arroser le jardin, pour les chasses de WC (35% de la consommation moyenne par personne), pour la lessive et pour le nettoyage. Il faut simplement placer un filtre au-delà de la pompe ;
- Utiliser l'eau pour tous les usages domestiques, donc également pour la vaisselle, et l'hygiène personnelle. Il faudra ici ajouter un filtre supplémentaire ;
- Utiliser l'eau également comme eau potable. Ce qui revient à devenir son propre fournisseur d'eau, avec toute la responsabilité que cela comporte (choix de quelques milliers de ménages depuis des années en Wallonie). La qualité de l'eau potable doit être vérifiée régulièrement par le fournisseur du matériel (suite à un contrat).

Notons qu'en moyenne, sur un immeuble de 60 m² au sol, on peut récupérer annuellement

environ 42 m³ d'eau soit en moyenne 115 litres d'eau disponible par jour ! Pour estimer la capacité de la citerne, il faut compter que pour 10 m² au sol de toiture correspond à une citerne de 1,5 m³. Donc pour un immeuble de 60 m² au sol, il faudrait une citerne de 9 m³.

Lors de la rénovation, s'il y a déjà une citerne, il est donc tout à fait logique de vouloir la réhabiliter. Mais avant la remise en service, il faut vider la citerne, vérifier l'état de ses parois, réparer les éventuelles fissures et remettre une couche bien lisse d'enduit de mortier. Car une citerne en béton, ou en maçonnerie permet de neutraliser l'acidité de l'eau de pluie au contact des parois. Celles faites en plastique, en métal ou en d'autres matériaux chimiquement inertes ne permettront pas cette neutralisation. Une citerne peut être rendue étanche et l'acidité de son eau peut être neutralisée au moyen d'un bon enduit de mortier. Tout produit d'étanchéité empêchant cette neutralisation doit être évité. Si, lors de cette rénovation, il n'existe pas de citerne, il y a trois possibilités d'intégration :

- Placer une grande citerne enterrée (difficile dans bien des cas) ;
- Placer plusieurs petites citernes dans une cave, un garage ou une annexe reliées entre elles sur le principe des vases communicants, pour n'en faire qu'une, elles sont dimensionnées pour pouvoir rentrer dans une cage d'escalier, et d'un poids réduit. Solution très efficace, mais plus coûteuse ;
- Placer une petite citerne (de 250 à 1000 litres) extérieure, qui peut être masquée par exemple derrière un écran végétal. Choix moins coûteux, mais offrant une capacité de stocker plus faible et se limitant à un usage extérieur pour le jardin.

Les conduites de distribution de l'eau de la citerne et celles pour l'eau publique doivent être séparées ce qui implique une tuyauterie spécifique dans l'habitation (norme NBN EN 1717). Aucune connexion entre ces deux réseaux ne peut exister (les clapets anti-retour sont insuffisants et non réglementaires). Ceci peut représenter une rénovation lourde.

Notons qu'une citerne correctement installée doit être nettoyée tous les 10 ans (élimination de la boue de décantation dans le fond) et que les filtres doivent être nettoyés régulièrement.

Les surfaces perméables

Les milieux construits sont de plus en plus imperméabilisés. Dans le cas d'aménagement de surfaces minéralisées, pour un usage de circulation ou de parking, terrasses, aires de jeux..., il est préférable de favoriser les surfaces perméables ou de conserver autour des platebandes de plantations [de Meester T., 2009].

Les toitures vertes

Une toiture verte est une toiture, plate ou en légère pente, recouverte de végétation et des couches nécessaires au bon développement de celle-ci. Il existe trois sortes de toitures vertes, selon le type de végétation qu'elle supporte :

- toiture à végétation extensive (applicable en rénovation) ;
- toiture à végétation intensive peu élaborée (à étudier pour appliquer en rénovation) ;
- toiture à végétation intensive élaborée (applicable difficilement en rénovation).

Les toitures vertes jouent plusieurs rôles :

- Elles augmentent la présence de la nature dans la ville, aide à la biodiversité ;
- Elles protègent l'étanchéité contre les agressions des rayons ultraviolets du soleil ainsi que des intempéries et elles diminuent les fluctuations de température subie par l'étanchéité ;
- Elles agissent comme un bassin tampon entre les intempéries et le système d'évacuation ;
- Elles permettent une amélioration sensible de la qualité de l'air, notamment dans les zones à forte densité, en filtrant une partie des particules présentes dans l'air, en absorbant certains métaux lourds (pollution atmosphérique) comme le cadmium, le cuivre et le plomb et le zinc et en oxygénant l'air grâce processus de la photosynthèse. De plus, grâce aux phénomènes d'ombrage et d'évapotranspiration, la toiture verte améliore la qualité hygrothermique et le microclimat environnant ;
- ...

Distribution-évacuation des eaux

Une rénovation lourde est l'occasion de vérifier le réseau de distribution. La détection des fuites éventuelles sur le réseau avant rénovation se fait en vérifiant la qualité du réseau de distribution au niveau de son étanchéité et en ayant une bonne connaissance du réseau de distribution tel qu'il a été réellement mis en œuvre sur chantier (sur base de plans graphiques). Il faudra par après vérifier la réparation des fuites éventuelles et les mises en œuvre (du nouveau réseau ou d'une extension du réseau) défectueuses pouvant occasionner des fuites.

Une bonne connaissance du réseau de distribution facilitera la gestion, la maintenance et la surveillance de celui-ci. Le concepteur veillera à obtenir un plan du réseau de distribution et d'évacuation tel que implanté lors de la construction ou tel que réalisé et/ou modifié sur le chantier de rénovation. Ce plan doit comporter les informations suivantes :

- l'implantation des colonnes de distribution et d'évacuation
- les robinets d'arrêt au pied des colonnes, numérotés et étiquetés
- les différents regards
- les différents embranchements

La réalisation de deux circuits d'évacuation (eau de ville et eau de pluie) permet de ne pas perturber le traitement des eaux de ville dans les centrales et permet de récupérer l'eau de pluie pour un usage. Le fait d'utiliser l'eau de pluie, ralenti sa mise à l'égout en créant un déphasage ce qui permet de diminuer les risques d'inondation, de débordement d'égout,...

Usage modéré des eaux

Il devient facile de diminuer ses consommations car de plus en plus d'équipement permettent de réduire ou d'adapter la consommation d'eau : les détections de fuites, les réducteurs de pression, les limiteurs de débit dynamique (Pièce de plomberie incorporée à la robinetterie qui maintient le débit à un niveau constant indépendant de la pression d'alimentation), les mitigeurs thermostatiques (réglage de la température et du débit), les chasses de WC à double commande (3 et 6 l), les chasses de WC à bouton stop, l'usage de douche par rapport au bain,...

Epuration des eaux

Les quartiers périurbains sont généralement caractérisés par de l'espace ce qui permet ou permettrait de développer des systèmes d'épurations des eaux. Différentes techniques d'épuration individuelle des eaux usées existent :

- Les systèmes intensifs : épuration des eaux usées par oxygénation et intervention mécanique. Ce sont des minis stations d'épuration développées suivant plusieurs techniques : systèmes à biomasse, systèmes à boues activées, systèmes à biodisques, filtre bactérien aérobie.
- Les systèmes extensifs : épuration des eaux usées par traitement naturel sans intervention mécanique. Ces systèmes, tout en étant aussi performants et adaptés que les systèmes intensifs, présentent des avantages économiques et écologiques car ils participent à l'amélioration des écosystèmes et à l'aménagement des espaces extérieurs tout en responsabilisant l'usager sur sa propre consommation en eau et en produits détergents ou lessiviels (polluants). La technique du lagunage est basée sur la transformation et l'assimilation des eaux usées domestiques (les eaux de pluie sont exclues de ce système d'épuration). Elle permet une dépollution organique et une décontamination microbienne grâce à :
 - o un écoulement lent des eaux usées dans des bassins successifs ;
 - o une association biologique couvrant toute une chaîne alimentaire (bactéries aérobies, bactéries anaérobies, algues et phytoplancton).

3.5.2. Matériaux : cycle de vie/déchets

Le choix des matériaux doit faire partie de la démarche de rénovation. Choisir les matériaux selon leur impact sur l'environnement oriente vers des matériaux recyclés ou réemployés, naturels ou renouvelables, de provenance locale ou européenne, avec le « Life cycle assessment » (LCA) le plus faible et vers des matériaux certifiés. Ce choix est également déterminé en fonction des possibilités d'entretien des matériaux. L'énergie grise est donc toute l'énergie utilisée à la construction ou à la rénovation d'un logement cela inclut chaque étape du cycle de vie du matériau et la quantité d'énergie demandée : conception d'un produit ou d'un matériau, extraction, traitement, fabrication, stockage, transport, mise en œuvre, commercialisation du produit, entretien, démolition, traitement des déchets, remise en état du site.

La rénovation de logements représente déjà une forte économie d'énergie grise par rapport à la construction de logements neufs grâce à la conservation au minimum de la structure du bâtiment, à l'existence des réseaux (électricité, gaz, transports,...) et à la limitation de la quantité de déchets (par rapport à une démolition complète). Cependant, cette énergie grise peut encore être réduite lors de la rénovation : par le choix des matériaux et produits de construction et/ou par un aménagement intérieur du logement permettant à celui-ci de s'adapter aux besoins futurs d'occupation.

Le concepteur doit donc tenir compte des analyses de cycle de vie (ACV) des matériaux afin de choisir un produit ou matériau de construction économe en énergie grise.

La fabrication et la mise en œuvre des matériaux de construction produisent des déchets. Selon le matériau, les déchets se caractérisent par leur quantité, leur nocivité, la difficulté de leur

traitement et de leur recyclage. Les travaux de rénovation de logements entraînent inévitablement un volume de déchets de construction portant à la fois sur les travaux de démolition et sur les travaux de remise à neuf. Certaines mesures préventives permettent de limiter au maximum les déchets de construction lors du chantier de rénovation et lors des transformations ou démolition future du bâtiment comme le choix du procédé de construction (veiller à travailler avec des dimensions standardisées et des éléments de construction préfabriqués et, idéalement, utiliser des techniques de construction permettant un démontage ultérieur aisé) et le choix des matériaux de construction (capacité du matériau de construction à être recyclé l'aptitude à la déconstruction du matériau).

Etablir une gestion efficace des déchets permet de trier davantage et à la source les déchets, de manière à pouvoir les valoriser dans les filières de recyclage. Lorsque la valorisation n'est pas possible, l'élimination des déchets se fera, via deux filières : l'incinération avec valorisation énergétique, et la mise en décharge.

La problématique des déchets de fonctionnement ou déchets ménagers, pour lesquels le tri peut être encouragé, doit être réfléchi à la conception. Si le concepteur ne peut pas agir directement sur le comportement même des habitants, il peut, par une conception et un aménagement intérieur adapté, les encourager au tri sélectif (prévoir un espace de tri, individuel ou collectif).

Afin d'optimiser le tri effectué par les occupants, ceux-ci doivent : comprendre clairement les consignes de tri (privilégier une information directe et explicite, ne passant pas uniquement par la pose d'affiches ou de pancartes) et avoir à leur disposition des moyens qui encouragent le tri des déchets (espace de tri intégré à la cuisine et/ou un espace commun de stockage adapté aux besoins de la collectivité, bien entretenu et facile d'accès). Les déchets doivent pouvoir être triés dans l'espace de vie et stocker dans un espace attenant ou à proximité du logement sans que cela engendre des nuisances pour le mode de vie de l'occupant. Il faut donc développer la notion d'espace privé de tri et d'espace commun de stockage.

3.5.3. Flexibilité fonctionnelle et volumétrie des espaces

Tout bâtiment sera amené au cours de sa vie à subir des évolutions dans son utilisation, voire des changements radicaux d'affectation. Car les manières de vivre, d'habiter évoluent au même titre que les techniques. La capacité qu'a un bâtiment à s'adapter aux différentes évolutions, est un gage de sa durabilité. Il s'agit d'une démarche durable qui a un moindre coût environnemental (déchets, matières premières, énergies).

La capacité d'extension (ou de compression par division) d'un bâtiment définira son élasticité. Cela se traduit souvent par une extension du bâtiment qu'elle soit horizontale ou verticale. Cette démarche demande une réflexion particulière sur le plan masse, la volumétrie et l'aménagement intérieur mais aussi sur le système constructif et les façades. Pourquoi ne pas construire ces extensions dans un niveau plus performant tel celui du passif ?!

Afin que le bâtiment puisse s'adapter aux évolutions ou aux innovations tant en matière de performances techniques (chauffage, ventilation, éclairage) que de mode de vie (logements ou résidentiel), il faut développer une certaine neutralité du bâtiment (structure, enveloppe, aménagement intérieur) par rapport aux équipements techniques. La neutralité du bâtiment garantira la capacité à accepter un changement important d'usage. (ex : promouvoir des

accès pour les personnes à mobilité réduite permet d'assurer une adaptation du bâtiment aux besoins évolutifs des occupants (accident, vieillissement). Cela implique l'usage de cloisons légères, de technique de vissage ou emboîtement, plutôt que les encollages, et l'emploi de matériaux recyclables. Le mode de construction en préfabrication permet d'améliorer et d'accélérer la mise en œuvre sur chantier.

3.5.4. Environnement, contextes et programme

Une rénovation durable doit consister en une approche globale. Il ne faut pas se contenter d'améliorer uniquement les performances énergétiques et environnementales du bâtiment. Il est essentiel de développer une réflexion concernant le contexte dans lequel le bâtiment rénové devra s'intégrer. Cela se traduit par l'importance d'une mixité sociale, d'une diversité des fonctions et de la biodiversité.

La rénovation doit s'effectuer à deux échelles :

- L'échelle « micro » : amélioration du caractère habitable du bâtiment (basé sur le confort et la santé des occupants), et cela concerne également les performances énergétiques et environnementales,
- L'échelle « macro » : qui considère le bâtiment dans son environnement global de manière à bénéficier des avantages qu'il offre et pour améliorer les aspects faisant défaut.

Afin d'améliorer la situation il faut tenir compte :

- des relations établies ou à établir avec le quartier (favoriser une mixité sociale et fonctionnelle)
- du confort des espaces intérieurs
- du confort des espaces extérieurs
- des consommations d'énergie (chauffage, électricité, eau potable,...)

Chaque contexte a un potentiel à être amélioré qui dépend de :

- la proximité du lieu de travail, des écoles, des magasins, ...
- la proximité des connections aux réseaux urbains
- l'accessibilité des transports publics
- la proximité des parcs et des espaces de détente

L'aspect économique aura également son importance vu que toute rénovation a un coût, qui variera en fonction des transformations à effectuer et de leur facilité de mise en œuvre. Cet aspect devra surtout s'adapter au budget du projet.

Les concepteurs ont et auront un grand défi à relever : offrir à tout habitant, un logement rénové, de qualité, confortable, lumineux, sain, proche des réseaux urbains (transports et facilités) et de services, entouré d'espaces verts et de détente,...

3.5.5. Mobilité

L'utilisation de plus en plus intense de la voiture a eu de nombreux impacts sur l'espace public, les relations sociales et sur l'environnement (qualité de l'air, réchauffement climatique,

épuisement des ressources,...). Aujourd'hui, il y a lieu de réduire l'utilisation de la voiture. Cet objectif ne peut être atteint sans :

- une présence forte des transports en commun
- des activités urbaines proches les unes des autres permettant une mobilité douce (piéton et vélos)
- des parkings judicieusement placés pour laisser sa voiture et utiliser les transports en communs
- des incitations légales ou financières au co-voiturage

Les pôles mixtes et compacts réduisent les besoins de déplacements et créent des quartiers animés et durables. Il faut donc encourager la mobilité à pied ou à vélo par une proximité aux infrastructures et aux réseaux existants et par la mise en place d'un service de stationnement voiture/vélo... Il faut développer des pistes cyclables confortables et sécurisées et des « garages à vélos » abrités, sécurisés et éclairés.

Les déplacements piétons sont encouragés lorsque la distance à parcourir est inférieure à 600 mètres (durée de +/- 10 minutes) au-delà, elle devient dissuasive pour le piéton « moyen ». En Belgique des systèmes alternatifs visant à motiver l'emploi de transport alternatif se développent : arrivée du RER, concept de vélos libres et publics répartis à travers des stations équipées de bornes (CycloCity, Pro Velo), service de location de véhicules pour une courte période à de multiples endroits souvent près des gares,...

3.5.6. Mode de vie et d'occupation

L'influence de la composition du ménage, son évolution à travers le cycle de vie d'un logement et le comportement des occupants, qui évoluent au fil du temps alors que la maison garde une taille fixe et inchangée sont des paramètres qui ont un impact énorme sur la facture énergétique d'un ménage et qui doivent être pris en compte lors d'une rénovation. Les opérations de construction et d'entretien, les activités des occupants et la qualité des environnements intérieurs sont liés au comportement humain. Et ceux-ci sont en effet connus pour avoir une influence aussi grande ou même plus grande que le climat, l'enveloppe du bâtiment et les systèmes de chauffage [Hilderson W., 2010].

Dans le contexte actuel de l'intérêt croissant pour le développement durable et les prix de l'énergie qui augmente, les ménages font de plus en plus attention à leurs consommations énergétiques et plus particulièrement aux consommations de chauffage [Mettetal L. 2009]. Cependant, une grande partie de la population et notamment les propriétaires plus âgées sont réticents à entreprendre de lourds travaux de rénovation. L'âge des occupants semble d'ailleurs avoir un énorme impact sur les charges de chauffage, et en particulier sur le taux d'occupation et la température de confort [Mettetal L. 2009]. La plupart des ménages sont prêts à diminuer leur confort cependant, la priorité de certaines personnes généralement âgées est le confort thermique. Cet équilibre entre confort et modération varie avec l'âge et la composition familiale. En effet, la consommation de chauffage augmente en fonction de l'âge du chef de famille. Chez les personnes âgées, la température est beaucoup plus élevée que la moyenne. De plus, des recherches ont montré qu'en général, les améliorations techniques sont préférées à des mesures comportementales et surtout de changements de consommation. Dans les

quartiers périurbains, les mesures d'économie d'énergie à domicile semble être plus acceptée que celles visant le transport car les déplacements quotidiens sont considérés comme incompressibles [Poortinga W., 2003 et Mettetal L., 2009]. Le comportement et les préférences des habitants ainsi que les solutions adoptées par les ménages pour réduire leur consommation peut donc varier dans de large proportion et ne peut être appréhendé par seulement un seul type standard de ménage.

La manière dont doit se dérouler une rénovation va dépendre de ce que recherche le ménage et de leur besoin. Ce rapport présentera des résultats comparant les variations de trois paramètres liés aux comportements humains et aux modes d'occupation: la taille de la famille et leurs modes d'occupations, la gestion du système de chauffage (thermostat) et la gestion de l'espace chauffé. Ces trois paramètres seront ensuite combinés afin de déterminer l'évolution de l'occupation de la maison pendant son cycle de vie.

4. L'impact des choix méthodologiques

4.1. Introduction

Ce chapitre aborde l'influence de certains choix méthodologiques sur les résultats des simulations thermiques dynamiques, de façon à quantifier l'impact et la pertinence de certaines simplifications sur les résultats obtenus et à orienter les recommandations et calculs qui alimenteront l'outil interactif final. Il s'agit concrètement de chercher le meilleur rapport entre fidélité des résultats et simplicité des calculs et outils à utiliser. Deux éléments sont traités :

- Le choix du logiciel de simulation thermique : nous comparons les résultats des simulations réalisées avec un logiciel complet de simulations thermiques dynamiques (TAS) avec les résultats obtenus avec un logiciel plus simple et plus rapide d'utilisation (Pleiades + Comfie) ;
- Le choix du mode de modélisation adopté : nous comparons les résultats obtenus en modélisant un même bâtiment en mono-zone (l'ensemble du bâtiment est considéré comme une seule et même zone thermique au comportement homogène, ce qui simplifie les calculs mais s'écarte du comportement réel du bâtiment) puis en multizones (différentes zones thermiques aux caractéristiques propres sont considérées dans un même bâtiment de façon à mieux appréhender la réalité).

4.2. L'impact du choix du logiciel de simulation thermique dynamique

4.2.1. L'objet de l'étude

Le bâtiment-type soumis à l'étude de la comparaison des résultats obtenus à l'aide de deux logiciels de simulation thermique dynamique est une maison unifamiliale de type « 4 façades » située dans le quartier de type « nappe », à Jambes. Sa superficie au sol est de 95,8 m², pour un volume chauffé total de 455 m³. Elle est composée d'un rez-de chaussée (volume de 268 m³) et d'un étage partiellement mansardé (187 m³). La façade la plus vitrée est orientée au sud-ouest. Dans les simulations, nous n'avons pas considéré de caves ni de garage.



Figure 10 : Photos de la maison-test, vues depuis la rue

La position des ouvertures dans le modèle est conforme aux plans d'exécution du bâtiment, sauf en ce qui concerne la fenêtre en toiture qui n'est pas modélisable dans le logiciel « simplifié » (Pleiades + Comfie). Cette superficie vitrée est donc reportée sur la façade verticale de même orientation dans les deux logiciels.

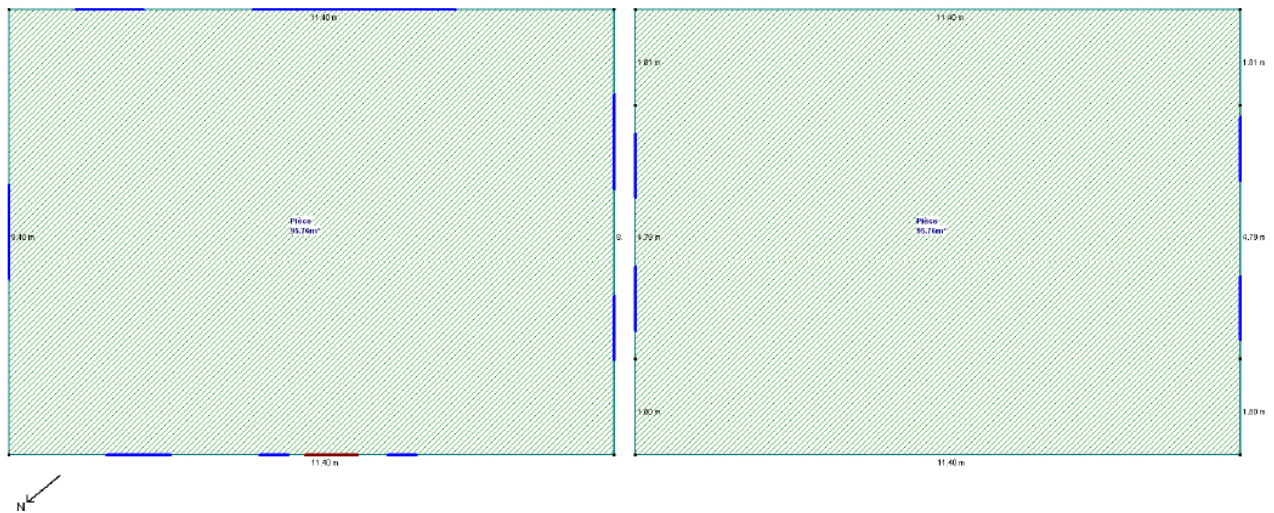


Figure 11 : Modélisation de la maison-test dans les logiciels de simulation thermique dynamique

4.2.2. La composition des parois

Les matériaux utilisés pour composer les différentes parois (murs, toitures et dalle de sol) du bâtiment sont identiques dans les deux logiciels, ce qui signifie qu'ils présentent les mêmes caractéristiques de densité, chaleur spécifique et conductivité. Cette exigence est nécessaire pour mettre en évidence l'influence stricte des logiciels et de leurs méthodes de calcul sur les résultats mais constitue une première difficulté. En effet, les bases de données de matériaux proposées dans chacun des logiciels diffèrent parfois de façon significative, ce qui implique d'encoder dans un des deux logiciels, les caractéristiques du matériau choisi dans le second logiciel. Afin de simplifier les calculs et de réduire le risque d'erreur (correspondance des matériaux), le même type d'isolant est utilisé dans les murs, les toitures et les dalles de sols (laine minérale). Si cette simplification n'est techniquement pas correcte (la laine minérale n'est pas utilisée en dalle de sol), elle n'a toutefois pas d'incidence sur le résultat des simulations thermiques dans le sens où il est parfaitement possible de trouver un isolant rigide pour dalle qui présente les mêmes caractéristiques thermiques qu'une laine minérale.

Les parois sont donc composées de la façon suivante :

- Les murs extérieurs sont composés de 9 cm de brique, « x » cm de laine minérale, 14 cm de béton et 1 cm de plâtre ;
- La dalle de sol est composée de 16 cm de hourdis + chape, « x » cm de laine minérale, 6 cm de mortier et 1 cm de carrelage ;
- Pour la toiture, ne sont pris en compte dans les simulations que « x » cm de laine minérale et 1 cm de plâtre ;
- La porte d'entrée est une porte opaque en bois présentant un coefficient de transmission thermique $U = 1.6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$;

- Un double vitrage performant présentant un $U_{moyen} = 1.85 \text{ W/m}^2\text{.K}$ ($U_{vitrage} = 1.36 \text{ W/m}^2$ et $U_{cadre} = 2.8 \text{ W/m}^2\text{.K}$) est utilisé pour toutes les fenêtres du bâtiment.

Plusieurs simulations sont spécifiées et réalisées en faisant varier l'épaisseur d'isolant dans les parois, de façon à tester l'impact de différents scénarios d'isolation, en fonction du logiciel utilisé. Les 4 variantes testées sont synthétisées dans le tableau suivant. Les épaisseurs d'isolant de la variante « PEB » ont été fixées pour répondre aux objectifs stipulés dans la nouvelle réglementation sur la Performance Énergétique des Bâtiments (PEB), applicable au 1^{er} mai 2010, à savoir :

- $U_{max} < 0.4 \text{ W/m}^2\text{.K}$ pour les murs ;
- $U_{max} < 0.4 \text{ W/m}^2\text{.K}$ pour la dalle de sol et ;
- $U_{max} < 0.3 \text{ W/m}^2\text{.K}$ pour la toiture.

Tableau 9 : Synthèse des différents scénarios d'isolation testés. Les épaisseurs d'isolant sont mentionnés ainsi que le coefficient de transmission thermique U de la paroi

	Murs		Dalle de sol		Toiture	
	Ep. isolant [cm]	Uparoi [W/m ² .k]	Ep. isolant [cm]	Uparoi [W/m ² .k]	Ep. isolant [cm]	Uparoi [W/m ² .k]
Variante « PEB »	8	0.39	9	0.4	13	0.29
Variante « 4cm »	4	0.66	4	0.82	4	0.94
Variante « 1 cm »	1	0.75	1	2.22	1	3.45
Variante « non isolée »	0	2.04	0	5.26	0	33.33

4.2.3. Les scénarios et les autres données

Les simulations thermiques dynamiques sont réalisées, dans un premier temps, en mono-zone, ce qui signifie que l'ensemble du volume du bâtiment est considéré comme une seule et même zone thermique à laquelle on attribue les mêmes caractéristiques et scénarios. Les scénarios utilisés sont volontairement simples de façon à axer notre analyse sur l'influence de l'isolation dans les parois, pour chacun des deux logiciels testés :

- Le fichier météo utilisé concerne une année-type de 12 mois, à Uccle;
- Température de consigne : 18° C constant ;
- Gains internes (appareils + éclairage + occupants) : 3W/m² constants ;
- Infiltration : 0.6 volume/heure³ ;
- Les ponts thermiques sont négligés ;
- Les masques extérieurs et ombrages ne sont pas pris en compte.

² U est le coefficient de transmission thermique des parois (nouvelle dénomination européenne qui remplace le k).

³ Notons que la norme PEB prescrit un taux d'infiltration à prendre en compte de 7,8 vol/h sous 50Pa par défaut si le test blowerdoor n'est pas effectué ce qui est défavorable. Le lien entre le taux d'infiltration réel et le taux d'infiltration mesuré pour une différence de pression de 50 Pa (test blower door) est établi par la formule : $\eta = \eta_{50} / K$ avec K allant de 10 (maison très exposée au vent) à 30 (maison très protégée). La valeur moyenne $K=20$ peut être considérée comme représentative [IEA, 1988].

4.2.4. Les logiciels utilisés

Les deux logiciels utilisés sont Pleiades+Comfie, d'une part et TAS, d'autre part.

Pleiades + Comfie est un logiciel de simulation thermique dynamique des bâtiments développé par le Centre d'Energétique de l'Ecole des Mines de Paris, Gesofat et Izuba énergies. Largement validé depuis plusieurs années [Peuportier 1989 et 2005], Pleiades + Comfie permet de simuler le comportement thermique des bâtiments multizones ou mono-zones⁴ en régime dynamique. Il est composé de trois modules : une interface de saisie graphique, une interface de gestion du bâtiment, de saisie des bibliothèques et d'analyse des résultats et un noyau de calcul. Il constitue, par sa rapidité et son apprentissage intuitif, une alternative aux seuls modèles de simulation lourds et coûteux⁵.

TAS est un logiciel pour l'analyse thermique de bâtiments. Il inclut un « modélisateur 3D », un module d'analyse thermique et énergétique, un « systems/controls simulator » et un « 2D CFD package ». Il y a également des liens CAD dans le modèleur 3D ainsi que des outils générant des rapports. Il apporte une solution pour la simulation thermique de bâtiments, et représente un outil de conception puissant dans l'optimisation des performances environnementales, énergétiques et de confort des bâtiments.

4.2.5. La comparaison des résultats des simulations

Le tableau suivant synthétise les résultats des simulations réalisées avec les deux logiciels présentés dans la section précédente, pour les différents scénarios d'isolation choisis.

Tableau 10 : Synthèse des besoins en chauffage (totaux, puis ramené à 1 m²) obtenus avec Pleiades + Comfie et avec Tas, pour les 4 scénarios d'isolation testés et différence (en %) entre ces résultats.

		Besoins de chauffage	
		[kWh]	[kWh/m ²]
Variante « PEB »	Pleiades + Comfie	9.563	50
	TAS	9.392	49
	Différence entre les logiciels		1.8 %
Variante « 4 cm »	Pleiades + Comfie	14.779	77
	TAS	14.155	74
	Différence entre les logiciels		4.2 %
Variante « 1 cm »	Pleiades + Comfie	27.808	145
	TAS	23.778	125
	Différence entre les logiciels		14.5 %
Variante « non isolée »	Pleiades + Comfie	50.464	263
	TAS	37.337	196
	Différence entre les logiciels		26.0 %

⁴ Remarquons que dans le cadre de la présente analyse, seule la simulation mono-zone a été utilisée, et ce dans une optique de simplification des simulations, notamment dans le cadre de l'application à grande échelle de la méthode d'évaluation énergétique développée en phase II.

⁵ <http://www.izuba.fr/logiciel/pleiadescomfie>, consulté en décembre 2010.

A la lecture des chiffres présentés dans le tableau précédent, on remarque que le logiciel Pleiades + Comfie semble surestimer les besoins en chauffage, par rapport au logiciel Tas. On remarque que la différence entre les besoins en chauffage donnés par les deux logiciels augmente avec la diminution de l'épaisseur d'isolant (jusqu'à 26% de différence entre les résultats donnés par les deux logiciels pour la version non isolée). Afin de vérifier si cette tendance se vérifie, nous avons répété le même type de simulations thermiques dynamiques pour d'autres épaisseurs d'isolant.

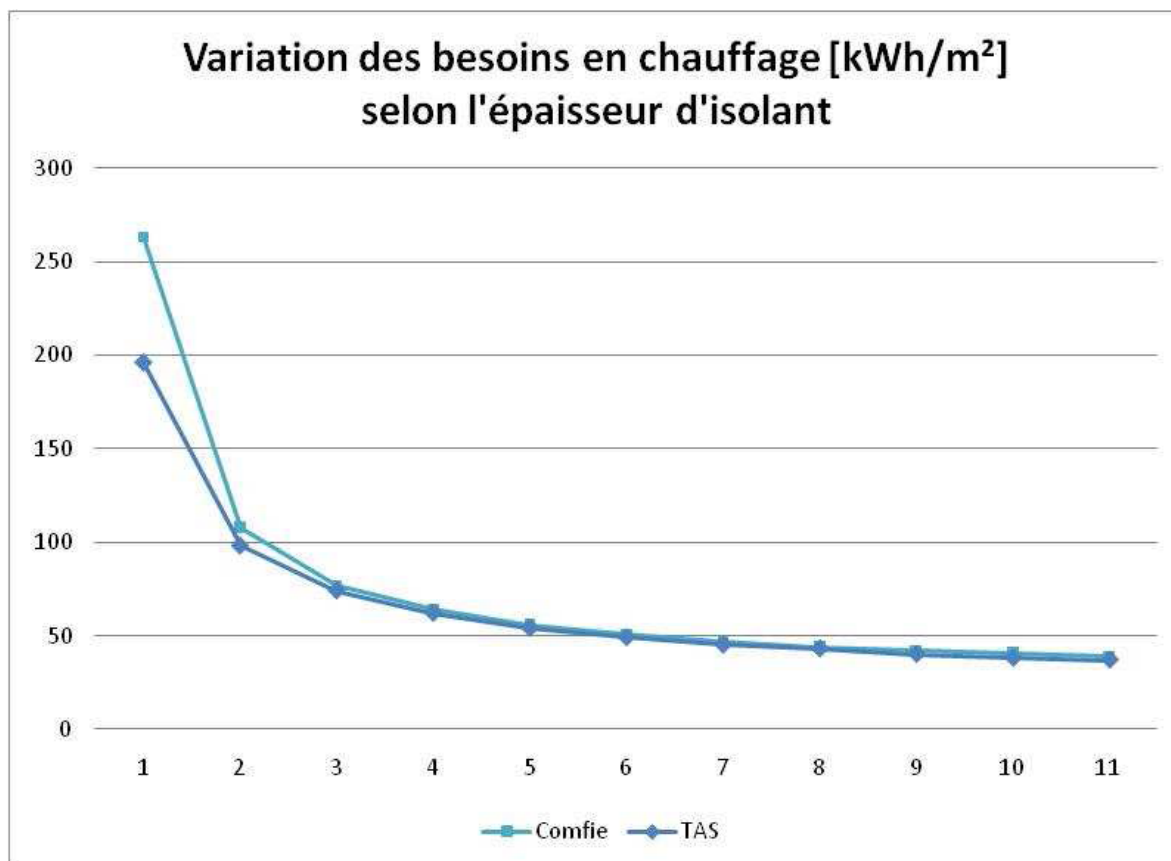


Figure 12 : Variations des besoins en chauffage (en kWh/m².an, en ordonnée) données par les logiciels Pleiades + Comfie (bleu clair) et TAS (bleu foncé) pour différentes épaisseurs d'isolation dans les parois (les identifiants (ID) mentionnés en abscisse sont définis dans le tableau suivant).

Tableau 11 : Comparaison des besoins en chauffage (kWh/m².an) et différence (en %) des résultats obtenus avec Pleiades + Comfie et avec TAS, pour différentes épaisseurs d'isolant.

ID	Epaisseur d'isolant			Besoins en chauffage		Différence logiciels
	Mur [cm]	Dalle [cm]	Toiture [cm]	P + Comfie [kWh/m².an]	Tas [kWh/m².an]	
1	0	0	0	263	196	25.5 %
2	2	2	2	108	98	9.3 %
3	4	4	4	77	74	3.9 %
4	6	6	6	64	62	3.1 %
5	8	8	8	56	54	3.6 %
6	10	10	10	51	49	3.9 %

7	12	12	12	47	45	4.3 %
8	14	14	14	44	43	2.3 %
9	16	16	16	42	40	4.8 %
10	18	18	18	41	38	7.3 %
11	20	20	20	39	37	5.1 %

Ces résultats confirment la tendance déjà mise en évidence, à quelques exceptions près. On remarquera également que, hormis pour les variantes 1 et 2 (les moins isolées), la différence entre les résultats obtenus grâce aux deux logiciels reste acceptable.

Nous avons ensuite réalisé de nouvelles simulations, pour les versions « PEB » et « non isolée » en enlevant, dans les simulations, la brique de parement des parois verticales.

Tableau 12 : Besoins de chauffage obtenus avec Pleiades + Comfie et Tas pour les variantes « PEB » et « non isolée », en enlevant la brique de parement des parois verticales du bâtiment simulé.

		Besoins annuels de chauffage			Différ.
		« sans » brique	« sans » brique	« avec » brique	Avec / sans
		[kWh]	[kWh/m²]	[kWh/m²]	%
Variante « PEB »	Pleiades + Comfie	9.840	51	50	2.8 %
	TAS	9.633	50	49	2.5 %
	Différence entre les logiciels		2.1 %		
Variante « non isolée »	Pleiades + Comfie	55.270	289	263	8.7 %
	TAS	39.463	206	196	5.4 %
	Différence entre les logiciels		28.6 %		

On remarque que la différence entre les résultats donnés par les deux logiciels augmente légèrement. Enlever la brique de parement reviendrait donc à augmenter encore la différence entre les résultats donnés par Pleiades + Comfie et par TAS. Conformément aux précédents résultats, cette différence est d'autant plus importante que le niveau d'isolation est faible.

4.2.6. Conclusion

Les résultats fournis par les deux logiciels testés, pour les hypothèses considérées, restent relativement proches, à l'exception de la variante « non isolée » où cette différence atteint 26 %. Il faut toutefois constater qu'il existe beaucoup de paramètres internes aux logiciels, et sur lesquels nous n'avons pas de prise. Parmi ceux-ci, on peut citer :

- La température qui est prise en compte pour les consignes : s'il s'agit de la température intérieure, les résultats des consommations seront au final moins élevés que si le logiciel prend en compte la température opérative (moyenne entre la température de l'air et celle des parois) ;
- Le rayonnement solaire doit intervenir et pour bien faire, il faudrait l'annuler ;
- Les coefficients de convection, les échanges et rayonnements radiatifs ;
- Il pourrait également être intéressant de refaire des simulations sans prendre en compte les gains internes, les infiltrations et le rayonnement pour confirmer que c'est bien au

niveau des parois que tout se joue ;

- Dans TAS, plusieurs paramètres doivent être définis pour les matériaux alors qu'il ne faut pas les spécifier dans Pleiades + Comfie : La « *Solar Reflectance* » (externe et interne), la « *Light Reflectance* » (externe et interne), « *Emissivity* » (externe et interne). Tout cela fait que les matériaux ne sont donc pas tout à fait identiques dans les deux logiciels, même si les caractéristiques que nous pouvons spécifier sont les mêmes.

Ces résultats sont par ailleurs cohérents avec ceux présentés en phase II et dans le premier rapport scientifique et technique [Marique et al., 2010] qui traitait de la modélisation énergétique des quartiers-tests, en l'état actuel. Pour le bâtiment testé dans la présente section, et qui constituait un des types utilisés lors de la phase II, nous avons obtenu lors des simulations thermiques dynamiques simplifiées réalisées avec Pleiades + Comfie les résultats présentés dans le tableau suivant, pour trois variantes d'isolation correspondant aux évolutions majeures de la réglementation thermique en Région wallonne. Il faut remarquer que les hypothèses de calcul diffèrent de celles adoptées dans cette section, notamment en ce qui concerne la consigne du thermostat (consigne de 15° C la nuit et 19° C le jour dans la phase II) ou la composition des parois (exigences moins strictes avant l'adoption et l'entrée en vigueur de la directive PEB). Les résultats obtenus sont toutefois logiquement du même ordre de grandeur que ceux présentés ici, ce qui permet de valider l'approche « simplifiée » proposée en phase II.

Tableau 13 : Rappel des résultats obtenus lors de la phase II, pour la même maison-test. Les hypothèses de calcul et scénarios différents de ceux utilisés ici mais les résultats de ces simulations simplifiées présentent des valeurs cohérentes par rapport aux simulations plus précises réalisées dans cette section.

Année de construction	Epaisseur d'isolant			U vitrage	Besoins en chauffage
	Mur [cm]	Dalle [cm]	Toiture [cm]	[W/m².K]	P+C [kWh/m²]
[1960 – 1981[	0	0	0	2.96	260
[1981 – 1996[	3	3	8	2.76	95
[1996 – 2008]	6	6	10	2.76	78

En conclusion, les simplifications adoptées dans les modèles et simulations réalisées avec Pleiades + Comfie permettent de réduire de façon significative la durée et la complexité des calculs sans engendrer de perte significative de fiabilité, compte tenu des objectifs fixés pour l'évaluation globale des quartiers (approche typologique du bâti et simulations thermiques dynamiques des types mis en évidence). Le logiciel TAS qui permet une approche plus fine du comportement thermique d'un bâtiment et la prise en compte de plus de paramètres est par ailleurs adapté aux variations paramétrées réalisée à l'échelle des bâtiments. Dans la suite de la recherche, nous utiliserons donc Pleiades + Comfie pour l'approche globale à l'échelle des quartiers et TAS pour l'approche à l'échelle du bâtiment.

4.3. L'impact du choix du mode de modélisation

Les deux modèles *monozone* nous ont apporté une première évaluation de la demande de chaleur. Il apparaît intéressant de se demander l'intérêt d'utiliser le *multizone* puisque le *monozone* apporte une réponse plus rapide. Cependant, la simulation en *monozone* force un chauffage de l'ensemble du volume ce qui n'est pas réaliste. De plus certaines pièces reçoivent de par leur fonction des gains internes plus importants ce qui peut provoquer des phénomènes de surchauffe. Ces effets de surchauffes sont brouillés lors de simulation en *monozone*. Afin de démontrer cela, nous avons comparé le modèle traité ci-dessus avec le même en *multizone*. Les deux tableaux ci-dessous reprennent les consommations en fonction de l'épaisseur de la couche isolante, d'abord à un niveau du standard actuel PEB puis lors d'une variation de l'épaisseur de la couche isolante.

Tableau 14 : Comparaison des demandes de chaleur du cas Comfie, Tas monozone et Tas multizone pour la variante SA

		[kWh]	[kWh/m²]
Variante « SA »	Comfie	9.563	50
	TAS monozone	9392	49
	TAS multizone	9141	49.5

Tableau 15 : Comparaison des demandes de chaleur en kWh/m² du cas Comfie, Tas monozone et Tas multizone en fonction de l'épaisseur de la couche d'isolation

ID	Mur [cm]	Dalle [cm]	Toiture [cm]	Résultats Comfie [kWh/m²]	Résultats TAS monozone [kWh/m²]	Résultats TAS multizone [kWh/m²]
1	0	0	0	263	196	246.22
2	2	2	2	108	98	110.14
3	4	4	4	77	74	79.06
4	6	6	6	64	62	64.17
5	8	8	8	56	54	55.36
6	10	10	10	51	49	49.51
7	12	12	12	47	45	45.35
8	14	14	14	44	43	42.25
9	16	16	16	42	40	39.85
10	18	18	18	41	38	37.93
11	20	20	20	39	37	36.37

Notons que la surface en m² considérée dans le *monozone* est de 191.7 m² et dans le cas du *multizone* de 184.527 m². Cette différence est due à la présence dans le *multizone* des murs intérieurs.

La Figure ci-dessous (Figure 13) illustre le tableau précédent et montre que lorsqu'il y a peu d'isolation, les résultats du cas *multizone* se rapprochent des résultats de Comfie. Mais plus l'isolation augmente, plus les résultats de TAS monozone et multizone se rapproche lorsqu'on les considère en kWh/m².

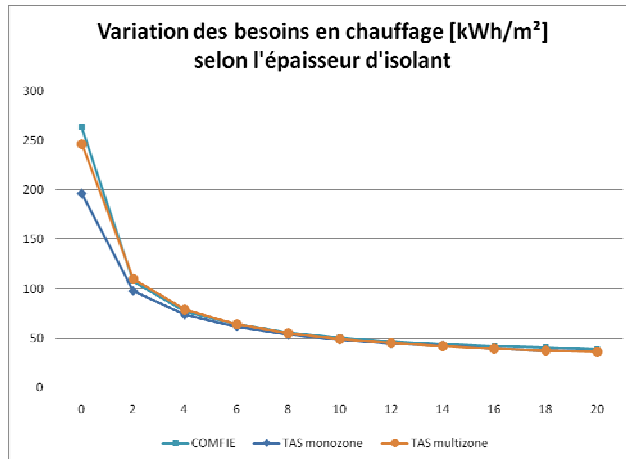


Figure 13 : Variation de la demande de chauffage (en kWh/m².an) en fonction de l'épaisseur d'isolant pour les cas Comfie, Tas monozone et Tas multizone

En termes de consommation globale, les résultats sont moins proches ce qui est dû à la différence de m² comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau 16 : Comparaison des demandes de chaleur en kWh du cas Comfie, Tas monozone et Tas multizone en fonction de l'épaisseur de la couche d'isolation

ID	Mur [cm]	Dalle [cm]	Toiture [cm]	Résultats Comfie [kWh]	Résultats TAS monozone [kWh]	Résultats TAS multizone [kWh]
1	0	0	0	50417.1	37573.2	45434.2
2	2	2	2	20703.6	18786.6	20323.8
3	4	4	4	14760.9	14185.8	14588.7
4	6	6	6	12268.8	11885.4	11841.1
5	8	8	8	10735.2	10351.8	10215.4
6	10	10	10	9776.7	9393.3	9135.9
7	12	12	12	9009.9	8626.5	8368.3
8	14	14	14	8434.8	8243.1	7796.3
9	16	16	16	8051.4	7668	7353.4
10	18	18	18	7859.7	7284.6	6999.1
11	20	20	20	7476.3	7092.9	6711.2

Nous pouvons constater que les simulations révèlent une moindre consommation dans le cas du multizone lorsqu'il y a plus d'isolation. Par contre, lorsque l'épaisseur d'isolation diminue, les consommations du cas Multizone augmentent par rapport au cas TAS monozone mais les consommations données par le cas Comfie restent supérieures.

Observons l'écart entre les différents résultats. Celui-ci reste généralement plus faible entre les cas TAS monozone et multizone (voir la Figure 14 où les valeurs pour l'épaisseur d'isolant 0 ont été retirées). Les modèles les plus proches sont ceux des deux cas TAS (TAS monozone et TAS multizone) puis ceux des deux cas monozone (Comfie – Tas monozone) et après vient les cas Comfie - TAS multizone. Cet écart entre ces derniers modèles, Comfie et TAS multizone devient

cependant plus proches lorsqu'il y a peu d'isolant, soit pour les cas 0, 2 et 4 cm d'isolant dans les parois alors que les deux modèles TAS se différencient davantage.

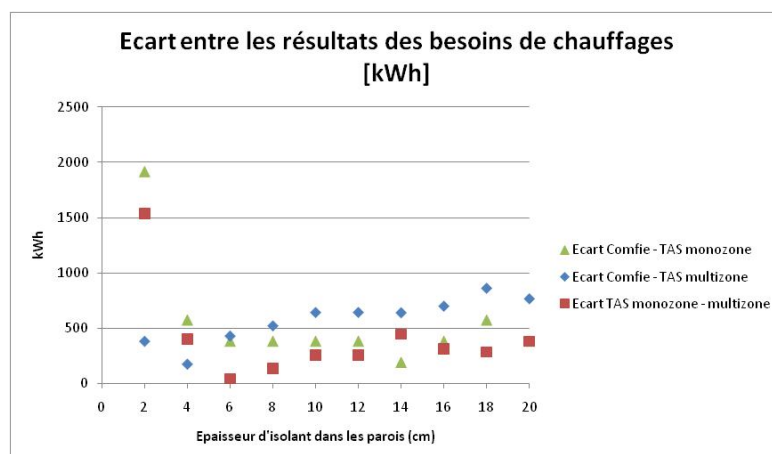


Figure 14 : Comparaison des 2 monozones et du multizone

La suite de l'analyse se basera sur les cas au niveau standard actuel (SA).

Il devient intéressant de se concentrer sur l'impact du cas multizone et pour mieux cibler cela, un modèle supplémentaire doit être introduit. Celui du cas multizone à gains internes constants (3W/m^2) comme dans le cas monozone. Car rappelons qu'un des intérêts du multizone est justement de pouvoir personnaliser chaque zone considérée. Dans les trois cas : monozone (TAS), multizone à gains internes constants (TAS) et multizone à gains internes variés (TAS), la moyenne des gains internes (GI) est de $3\text{ W/m}^2/\text{h}$ (Figure 15). Dans les cas monozone, des gains internes constants ont été imposés à 3 W/m^2 . Cette valeur a été reprise dans le cas multizone où, là, les gains internes ont été répartis dans chaque pièce et en fonction d'un horaire journalier propre à l'activité de la pièce. Leur moyenne est bien de 3 W/m^2 . Lorsqu'on compare la répartition des gains internes (Figure 15). On peut constater que les gains internes des cas monozone à GI constant et multizone à GI constant ne sont pas tout à fait identiques. Ceci est dû à l'ajout de murs dans le cas multizone qui réduit la surface au sol considéré.

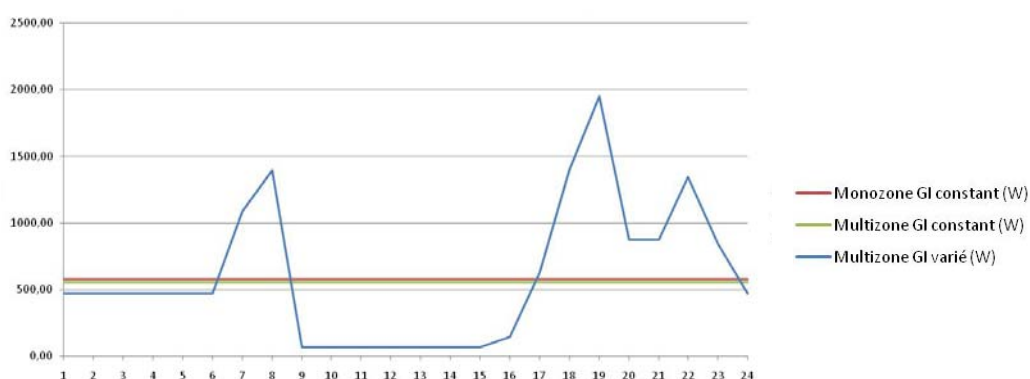


Figure 15 : Comparaison du comportement des gains internes (en W) des cas monozone GI constants, multizone GI constant et multizone GI variés lors d'une journée froide (en heure).

Lorsqu'on analyse les zones où se concentrent les températures extrêmes ou les demandes de chauffages extrêmes, au cours de l'année, on peut constater qu'elles restent identiques d'un

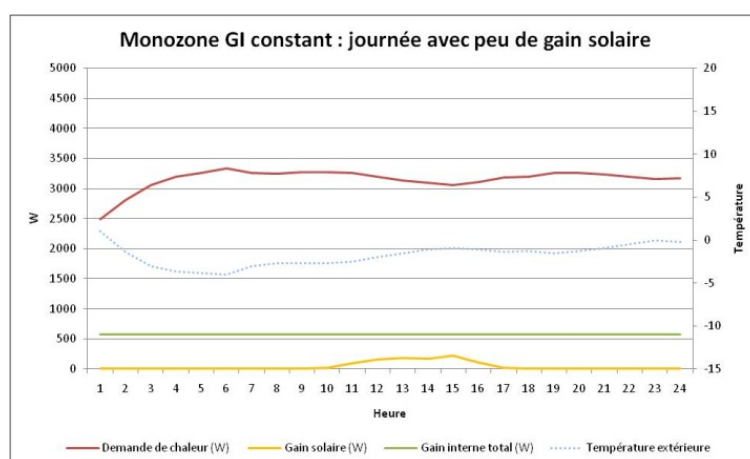
cas à l'autre mais que les valeurs, elles, sont fort différentes. Le tableau ci-dessous reprend ces valeurs et permet de constater que si la température la plus importante est atteinte, dans les deux cas multizone (aux GI constants et variés), dans la salle de bain, la différence entre les deux valeurs de températures est de 6°C ce qui est énorme ! De telles différences peuvent masquer des problèmes de surchauffe dans certaines pièces (cuisine, salle de bain,...).

Tableau 17 : Températures extrêmes et leurs pièces correspondant pour les cas monozone GI constants, multizone GI constant et multizone GI variés.

	Température max [°C]	Pièce	Demande de chauffage max [kW]	Pièce
Monozone GI constant	30.96	"Etagé"	2.456	"RDC"
Multizone GI constant	29.43	Salle de bain	1.242	Living
Multizone GI varié	35.43	Salle de bain	1.34	Living

Il apparaît intéressant de poursuivre l'analyse lors d'un jour d'hiver de l'année (le 1^{er} jour). La moyenne des températures du jour est de -1.7°C. Les gains solaires sont particulièrement faibles ce qui correspond à un ciel couvert.

L'impact des gains internes est très visible sur les deux figures ci-dessous qui reprennent respectivement les demandes de chaleur du cas *monozone avec les GI constants* et du cas *multizone avec des GI variés*. Comme la température et les gains solaire sont relativement constant ce jour-là, la variation des GI, au long de la journée, du cas *multizone avec des GI variés*, se voit très bien ainsi que l'impact de ces GI sur la demande de chauffage qui est également très perceptible. Dans le cas monozone, la demande de chaleur reste bien constante et dans le cas multizone, elle varie en fonction des GI. Dans le multizone, l'absence en journée des occupants, est bien visible et représente un des endroits où la demande de chauffage est la plus importante ! Ceci révèle l'intérêt de couper le chauffage ou du moins de le diminuer pendant la journée. Les principaux pics ont lieu au moment des douches et de la cuisine le matin et le soir.



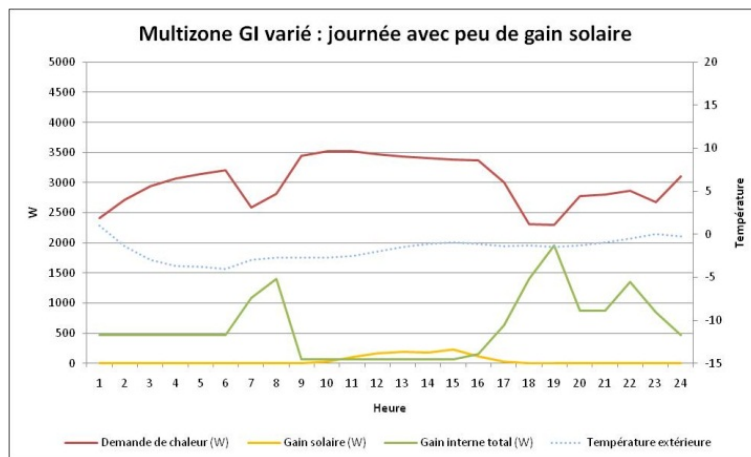


Figure 16 : Impact de la variation des GI sur la demande de chaleur en W pour les cas Monozone à GI constant et Multizone à GI variés, lors d'une journée avec peu de gain solaire

Il apparaît intéressant de poursuivre l'analyse lors d'un jour très froid de l'année (le 44^{ème} jour). Le minimum observé est de -9.1°C. Les gains solaires sont révélateurs d'un ciel serein. Le cas *monozone avec les GI constants* (Figure 17) marque une variation de la demande de chauffage essentiellement due aux gains solaires. En hiver, le soleil est bas et on se rend compte que la maison est d'avantage tournée au sud-ouest vu l'allure de la courbe de demande de chauffage qui continue à descendre malgré que les gains solaires diminuent. Notons cependant qu'à ce moment la température extérieure continue à augmenter de 2°C.

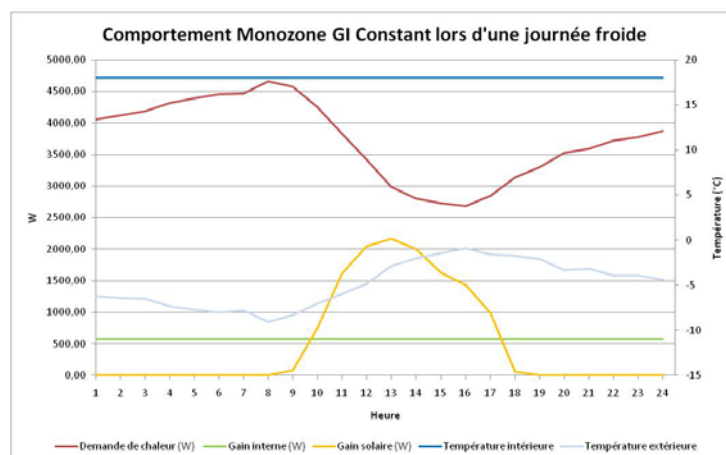


Figure 17 : Influence des gains solaires sur la demande de chauffage du cas Monozone avec GI constant lors d'une journée froide.

La température extérieure a en effet un impact non négligeable comme le révèle la Figure 18 du *monozone à GI constant* où le 3^{er} jour, jour avec peu de gains solaires, la courbe de demande dépend très clairement de la courbes des températures extérieures.

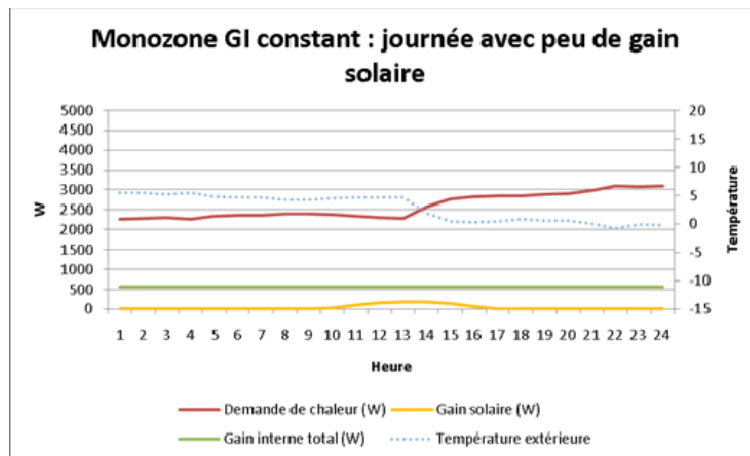


Figure 18 : Influence des températures extérieures sur la demande de chauffage du cas Monozone avec GI constant lors d'une journée avec peu de gain solaire.

Reprenons l'analyse, le 44^{ème} jour, de l'impact des GI sur les consommations en fonction du modèle simulé. La Figure 19 reprend les courbes des consommations des trois cas étudiés et l'apport des GI associés. La somme des consommations sur la journée est de :

- Monozone GI constant : 89.74 kW
- Multizone GI constant : 87.28 kW
- Multizone GI varié : 86.52 kW

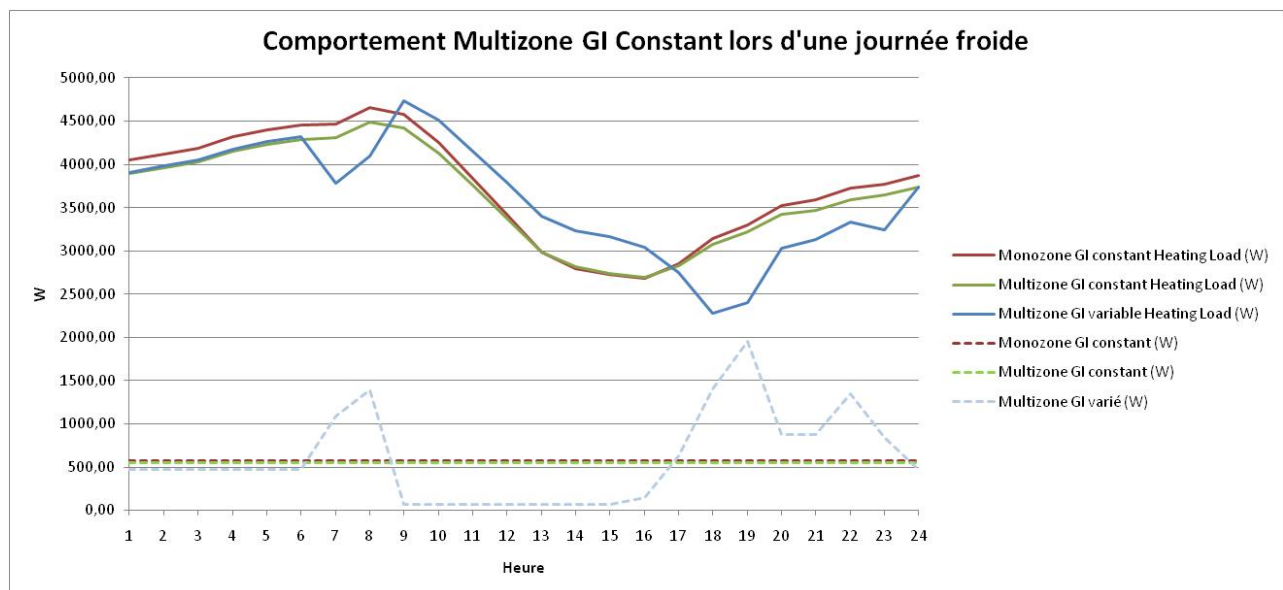


Figure 19 : Comparaisons des impacts des GI sur les demandes de chaleur des 3 cas étudiés lors d'une journée froide avec peu de gain solaire.

Les courbes de consommation des deux cas aux GI constants sont très proches durant ce jour. On peut observer que le cas Monozone à GI constants consomme légèrement plus que le multizone à GI constants mais il possède des GI légèrement plus élevés. Cet effet peut être dû aux murs intérieurs et à leur inertie où, en se chargeant en chaleur, cela amortit les extrêmes de températures.

Le multizone à GI variés à une courbe des consommations beaucoup plus fluctuantes qui dépend clairement de la variation des GI le long de la journée. Cette courbe réagit « en chassé-croisé » avec celle du multizone à GI constant : leurs courbes de demandes se croisent aux mêmes instants que leurs courbes de GI où lorsque la consommation de l'un est un peu plus élevée que celle de l'autre, les GI de ce premier sont plus faibles que ceux de l'autre (on trouve un équilibre entre ces deux cas). La courbe de demande de chaleur du cas multizone à GI variés, beaucoup plus fluctuante, dépend de la variation des GI au long de la journée.

Nous analyserons à présent les spécificités du multizone à travers quatre différentes pièces ou zones du bâtiment (se basant sur une journée froide d'hiver (le 44^{ième} jour)).

La salle de bain est une zone qui va accumuler en un faible laps de temps une grande quantité de GI (moyenne de 4,6 w/m²). Voir Figure 20.

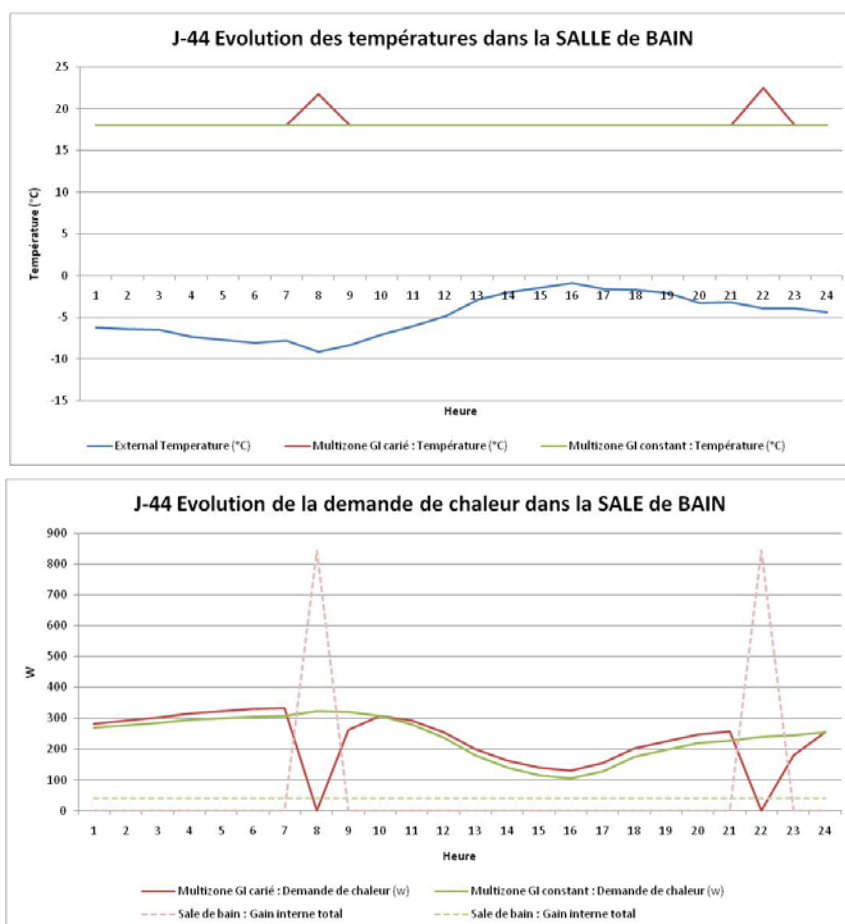


Figure 20 : Comparaison de l'évolution des températures et de la demande de chaleur dans la salle de bain pour les cas Multizone à GI variés et à GI constants

Si la température imposée à 18°C est faible pour une salle de bain, lors de ses usages, le cas à GI variés révèle clairement que cette consigne de base est dépassée et que la température monte à 22°C. Ceci n'est forcément pas visible dans le cas à GI constant. Les deux périodes d'occupation marquent clairement une baisse du besoin de chauffage dans le cas à GI varié contrairement au cas à GI constant où le besoin de chauffage reste tout à fait constant. Ne pas travailler en multizone amènerait à une vision tronquée de la réalité. Ce qui pour une pièce aussi sensible que la salle de bain peut avoir des conséquences négatives et ne permettrait pas d'ajuster le système de chauffage aux besoins des pièces.

Dans la cuisine, le même phénomène est visible (Figure ci-dessous). Cette pièce, tout comme la salle de bain, reçoit à un certain moment une grande quantité de GI (moyenne à 4,8 W/m². Cette Figure montre clairement qu'avec une étude de GI constant, on ne peut pas prévoir les éventuelles surchauffes. De plus, cela pourrait entraîner un surdimensionnement des émetteurs.

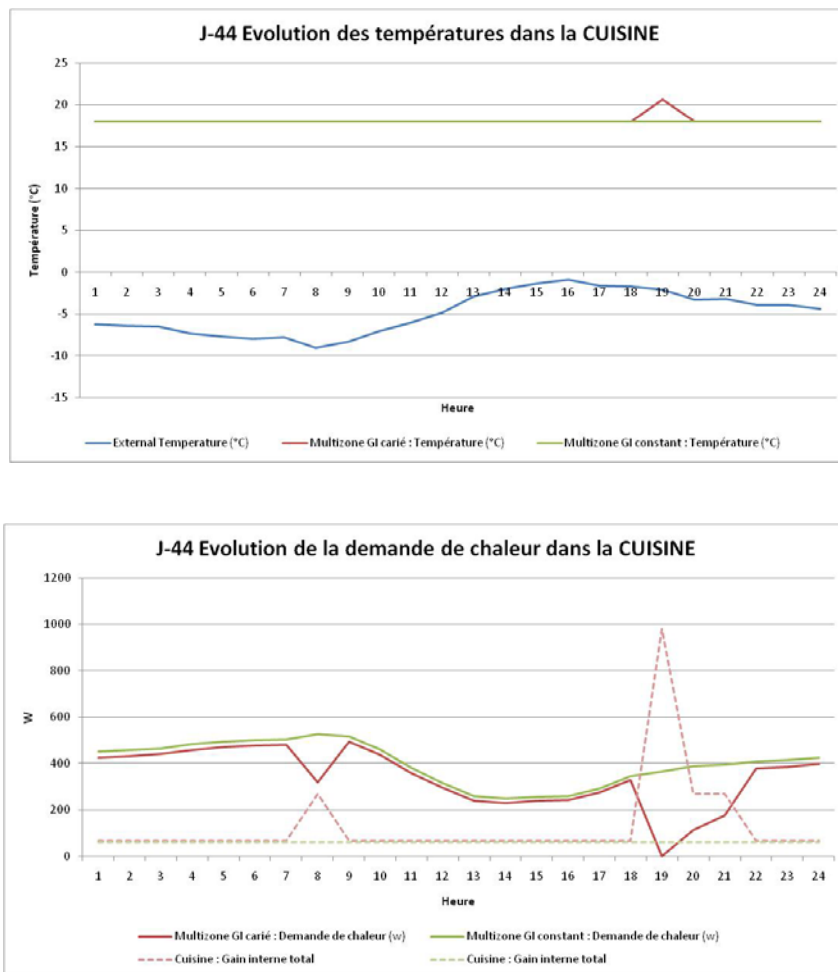


Figure 21 : Comparaison de l'évolution des températures et de la demande de chaleur dans la cuisine pour les cas Multizone à GI variés et à GI constants

Dans le living (moyenne des GI : 3,47 W/m²) les températures de consignes sont respectées dans les deux cas (Voir Figure ci-dessous). Seulement, pour les atteindre, on peut observer que les demandes de chaleur sont assez différentes dues, à nouveau, à la répartition variée des GI. Il est à nouveau possible de constater que, durant la journée, lorsque la pièce est inoccupée, la demande de chauffage augmente pour maintenir une température de consigne élevée. Une consigne attachée à un horaire serait plus économe.

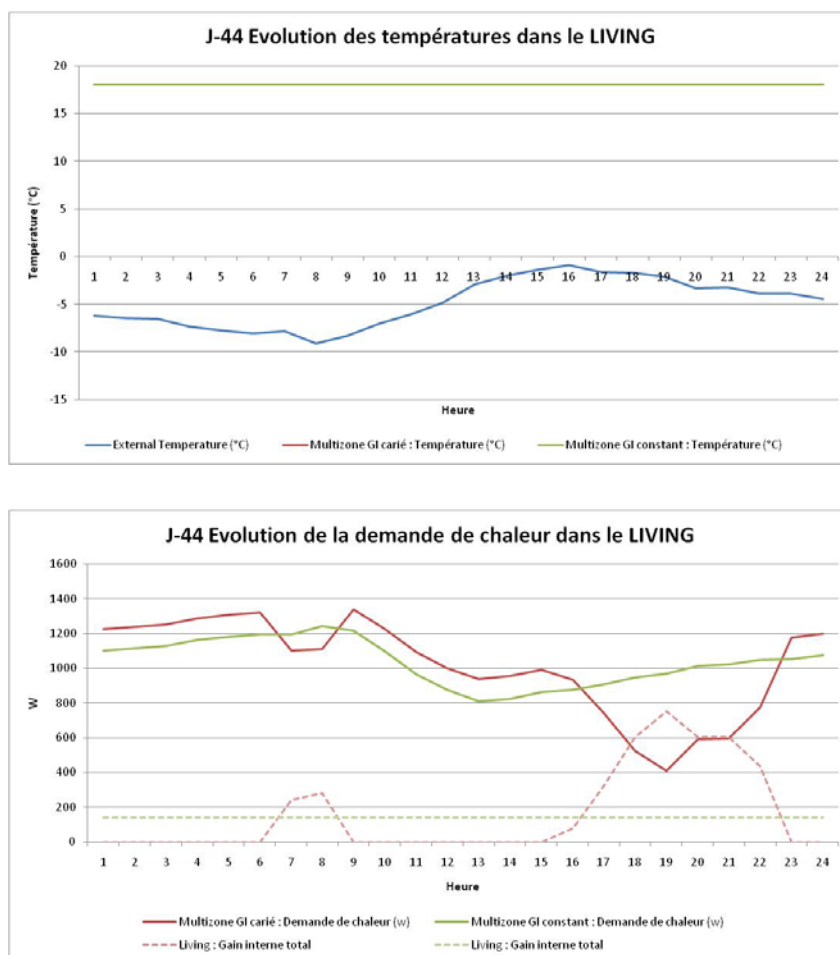


Figure 22 : Comparaison de l'évolution des températures et de la demande de chaleur dans le living pour les cas Multizone à GI variés et à GI constants

Dans le bureau (Figure 23), la moyenne des GI est de $1,59 \text{ W/m}^2$ ce qui est inférieur à la moyenne des 3 W/m^2 . Les demandes de chauffage se retrouvent différentes et dans une étude avec des GI constants, la demande de chaleur risque d'être sous-évaluée. Ou afin de contrer ce risque, et suite à un coefficient quelconque de correction, l'installation risque d'être surdimensionnée.

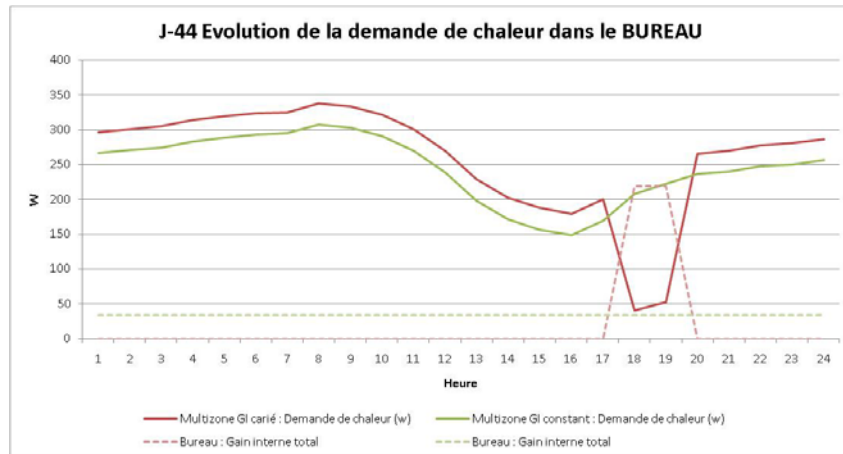


Figure 23 : Comparaison de l'évolution de la demande de chaleur dans le bureau pour les cas Multizone à GI variés et à GI constants

La variation des gains internes permise dans le multizone, permet d'être conscient des besoins réels de chaque pièce et des risques de surchauffe qui peuvent survenir dans certaines pièces (cuisine, salle de bain,...) à certain moment de la journée. Ce type de modélisation est plus précis et évite de surestimer les demandes de chauffage. Cependant, le comportement de l'occupant peut remettre en question les hypothèses de base qui se sont basées sur des moyennes mais, de ce fait, tout type de dimensionnement d'installation doit pouvoir s'adapter à des comportements plus extrêmes.

5. Les variations paramétrées « bâtiment »

5.1. Le choix des paramètres

5.1.1. Maisons analysées avec TAS

L'analyse du bâti wallon se fera au moyen de simulations dynamiques multizones. Ces simulations sont effectuées avec le logiciel EDSL TAS. Ce logiciel permettra d'étudier 7 maisons dans les 4 quartiers périurbains sélectionnés.

Ce point permet de découvrir : le logiciel TAS et de voir l'implication de ce logiciel dans l'étude des bâtiments à travers sa structure, de présenter les 7 maisons analysées et modélisées dans leur quartier.

5.1.1.1. TAS - Thermal Analysis Software

Tas est un logiciel pour l'analyse thermique de bâtiments. Il inclut un « modeller 3D », un module d'analyse thermique et énergétique, un « systems/controls simulator » et un « 2D CFD package ». Il y a également des liens CAD dans le modèleur 3D ainsi que des outils générant de rapports. Il apporte une solution pour la simulation thermique dynamique de bâtiments, et représente un outil de conception puissant dans l'optimisation des performances environnementales, énergétiques et de confort des bâtiments.

L'étude d'une maison se déroule en 4 étapes :

1. La modélisation en 2D et 3D de la maison étudiée et des bâtiments l'entourant, avec partitionage en zone de la maison où une zone représente une ou plusieurs pièces (fichier « .t3d » avec Tas 3D Modeller)
2. La paramétrisation du bâtiment qui permet de définir : le fichier météo, les conditions internes, les éléments de constructions et les parois, les types d'ouvertures, les mouvements d'air d'une zone à l'autre,... (fichier « .tbd » avec Tas Building Simulator)
3. Les résultats de la simulation sont repris dans un fichier qui permet de visualiser sous forme de graphes et tableaux différents types de résultats pour des périodes (fichier « .tsd » avec Tas Result Viewer)
4. Le fichier contenant la Macros « AnnualLoads.xlt » permet de développer les résultats dans un fichier Excell sous forme de chiffres et de graphes.

Un des avantages de Tas est qu'il permet d'effectuer du multizone et grâce à cela les besoins de chaque pièce peuvent être pris précisément en considération. La modélisation passe par celle des pièces. L'occupation de celle-ci, leurs gains internes, la ventilation, etc. sont adaptés à la fonction de la pièce ce qui permet de déceler les éventuels problèmes de surchauffe ou autres. Cela sera analysé et discuté dans la partie des résultats des simulations.

Les maisons sont modélisées dans leur quartier de façon à faire intervenir les ombres des bâtiments voisins. Dans le « Building Summary », certains paramètres ont été fixés :

- le type de terrain (Terrain Type) = « rural » (ce qui est défavorable pour un quartier périurbain mais place l'étude du côté de la sécurité)

- le « Mean Height surroundings » = 6m

Tas prend en compte les types d'environnement dans les quels se trouvent les bâtiments. Il a permis une excellente approche dans l'analyse des maisons et de leur quartier.

5.1.1.2. Quartier Nappe

Ce quartier monofonctionnel caractérisé par un tissu de constructions isolées homogènes, de type « 4 façades » a été présenté lors de la phase I : *Etat de l'art, typologie des quartiers périurbains et sélection des cas d'étude*, à la page 48 du Rapport scientifique et technique.

Deux maisons de ce quartier ont été sélectionnées pour l'étude.

Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3

Il s'agit d'une maison « 4 façades » de 9m sur 12m (108 m² d'emprise au sol) et d'un volume intérieur habité de +/- 454.94 m³, le jardin est orienté au nord-est. La maison comporte une salle de séjour avec 3 orientations (NO, NE et SE), une cuisine (SE et SO) et un bureau (SO) et à l'étage, on retrouve 4 chambres donnant sur les pignons (2 au NE, 1 au SO et 1 au SE (vélux)) et une salle de bain (SO). La maison est entièrement sur cave où se trouve un garage. L'orientation n'est pas optimale mais elle sera conservée pour la modélisation de ce bâtiment et pour les simulations.

La maison a été modélisée en 19 zones (chaque pièce est représentée comme une zone). Toutes les conditions internes sont décrites ci-dessous. La ventilation est également détaillée plus bas. Cela permet de confronter et comparer les données entre les différentes habitations. Les plans sont repris dans l'annexe 1. La figure ci-dessous représente la modélisation TAS.



Figure 24 : Modélisation Tas du quartier Nappe - Fenouil 3

Maison unifamiliale « 4façades » Fenouil 7

Cette maison du même quartier est plus petite que la précédente. De 8m sur 8m (soit 64 m² d'emprise au sol), elle se situe dans la même rue au n°7. Cette maison de plein pied comporte au rez-de-chaussée un séjour (NE, SE et SO), une cuisine (NE) et une chambre (NO) et à l'étage, deux chambres (donnant sur les pignons : NO et SE) et une salle de bain (SE). Un garage y est annexé et le jardin entourant la maison est orienté au nord-est où il est principalement développé.

La maison a été modélisée en 11 zones. La figure ci-dessous représente la modélisation TAS. Toutes les conditions internes sont décrites ci-dessous et tous les plans sont repris dans l'annexe 1.

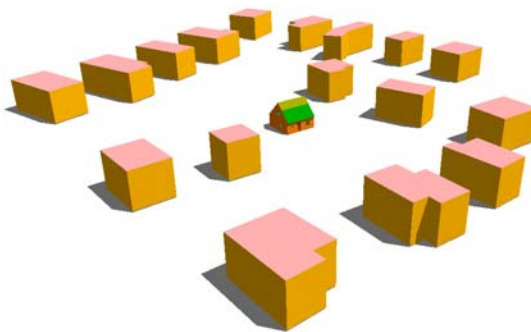


Figure 25 : Modélisation Tas du quartier Nappe – Fenouil 7

5.1.1.3. Quartier Ruban

Le Quartier Ruban, caractérisé par un étalement linéaire, est constitué de constructions pavillonnaires et, plus rarement, mitoyennes. Il s'est développé et se développe entre des noyaux villageois. L'arrière de ces quartiers longilignes ne permet, en général, pas d'extension car il est souvent constitué de terres agricoles, de forêts, etc. Il a été présenté lors de la phase I : *Etat de l'art, typologie des quartiers périurbains et sélection des cas d'étude*, à la page 46 du Rapport scientifique et technique.

La maison de référence pour ce quartier sera celle du quartier de type « nappe » (rue du Fenouil n°3) voir plus haut où l'entièreté de la maison est reprise et décrite. Pour la modélisation, elle sera intégrée au quartier et son orientation sera donc adaptée par une rotation de 103° par rapport à sa position dans le quartier Nappe. La maison comporte une salle de séjour avec 3 orientations (SO, NO et NE), une cuisine (NE et SE) et un bureau (SE) et à l'étage, se retrouvent 4 chambres (trois, donnant sur les pignons : 2 au NO et 1 au SE, et la 4^{ème} au NE (velux)) et une salle de bain (SE).

L'orientation n'est pas plus optimale que celle de la rue du Fenouil n°3 mais elle sera conservée pour la modélisation de ce bâtiment et pour les simulations dans le souci d'être le plus proche de la réalité (Voir Figure ci-dessous).

La maison a la particularité de se trouver face à une forêt de feuillus qui a été modélisée dans TAS sous la forme d'un mur continu de 20m de haut. Seulement cela n'est pas tout à fait représentatif de la réalité, notamment en hiver. Pour cela, des simulations avec et sans ce mur de 20m de haut permettront d'en analyser son impact. Ce doublement des simulations est d'autant plus important que cette forêt est située au sud-ouest de la maison, juste de l'autre côté de la rue.

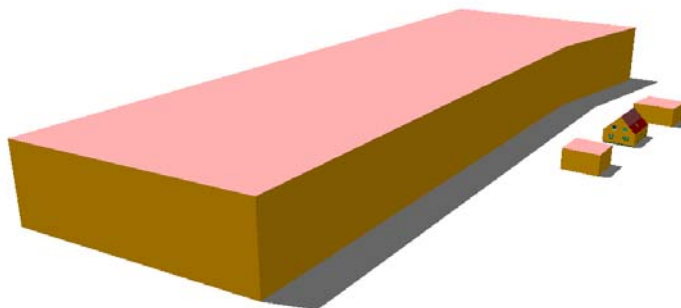


Figure 26 : Modélisation Tas du quartier Ruban avec forêt

5.1.1.4. Quartier Semi-Mitoyen

Ce quartier caractérisé par un ensemble de bâtiments résidentiels, principalement mitoyens, présentant des superficies homogènes, est représentatif du type correspondant aux cités sociales.

Ce quartier monofonctionnel, constitué de production par lots est situé près d'un métro. L'espace public joue un rôle important. Il a été présenté lors de la phase I : *Etat de l'art, typologie des quartiers périurbains et sélection des cas d'étude*, à la page 47 du Rapport scientifique et technique.

Le quartier étudié est composé de trois types de bâtiments :

- La cité Chavée, est un ensemble de logements sociaux (CPAS), inaugurés en 1930, et repris à l'inventaire du patrimoine monumental de la Belgique. Elle est implantée en « U » autour d'un vaste terrain potager bordé d'une voirie, 18 maisonnettes basses en briques comportent chacune deux habitations.
- Le Foyer Fontainois, au nord-ouest de la cité Chavée, où sont implantées 22 habitations sociales groupées par bloc de 2 ou de 4 maisons. Elles datent de 1953.
- Le Foyer Fontainois, au sud-est de la cité Chavée : où se trouvent 24 habitations sociales semi-mitoyennes plus récentes puisqu'elles ont été construites en 1983.

L'étude se basera sur les deux premiers types de bâtiments (la cité Chavée et le Foyer Fontainois de 1953) où deux maisons ont été sélectionnées, représentative chacune d'un type.

Maison sociale « 3 façades » de la Cité Chavée

L'étude se base sur une des maisons du « U ». Chaque maison est un bloc constitué de 2 maisons ouvrières (2 trois-façades). Elle est de plein-pieds et composée d'un rez-de-chaussée et de combles non habitables. Maison de type « 3 façades » de 7.4 m sur 6.29 m (soit 46.55 m² d'emprise au sol). Le séjour et la chambre, côté intérieur du « U », sont situés au sud-ouest et la cuisine et la remise/salle de bain sont au nord-est. La maison a été modélisée en 5 zones et vu la taille de la maison, deux personnes y habitent. La Figure ci-dessous représente la modélisation Tas de la maison analysée avec les bâtiments voisins. Un projet de rénovation de cette cité est en cours.

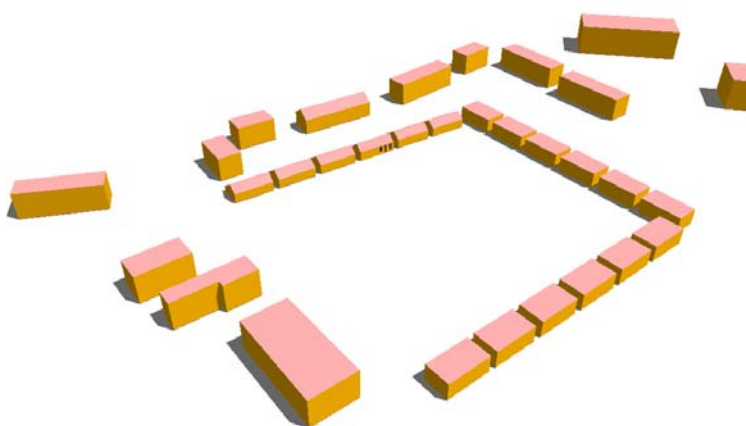


Figure 27 : Modélisation Tas de la Cité Chavée, quartier Semi-mitoyen

Maison sociale « 2 façades » du Foyer Fontainois

La maison servant aux simulations se trouve rue Walravens. Il s'agit d'un bloc de quatre maisons (2 trois-façades aux extrémités et 2 deux-façades entre celles-ci). La maison étudiée est mitoyenne, de 6.31m sur 7.48m (47.2 m² d'emprise au sol). Elle est entièrement sur cave, possède un étage et des combles. Le salon et la salle à manger donnant l'un sur l'autre, forment deux pièces en enfilade de façade (NE) à façade (SO). Au rez-de-chaussée il y a également une cuisine (SO), un hall (NE) et un vestiaire. A l'étage se trouve 3 chambres (2 au SO et 1 au NE) et une salle de bain (NE). La maison a été modélisée en 12 zones.

La Figure ci-dessous présente la modélisation en 3D (Tas) où la maison est modélisée avec les bâtiments alentours (la cave n'est pas visible sur la figure). La citée Chavée située au SO est représentée en barre plutôt qu'en plusieurs bâtiments. Cette simplification est due à l'étroitesse de l'espace entre les bâtiments (< 2m).

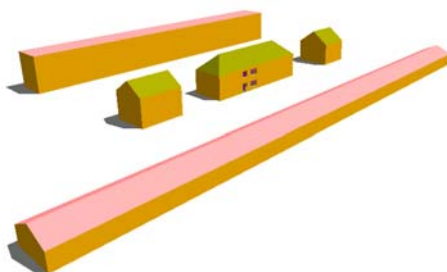


Figure 28 : Modélisation Tas du Foyer Fontainois, quartier Semi-mitoyen

Toutes les conditions internes sont décrites ci-dessous et tous les plans sont repris dans l'annexe 1.

5.1.1.5. Quartier Mixte

Ce quartier, caractérisé par un noyau villageois composé d'un ensemble de bâtiments plutôt anciens, principalement mitoyens et de superficies hétérogènes autour duquel se sont développées des constructions plus récentes, plus grandes et souvent isolées, présente une grande mixité tant en termes de formes que de fonctions. Il a été présenté lors de la phase I : *Etat de l'art, typologie des quartiers périurbains et sélection des cas d'étude*, à la page 49 du Rapport scientifique et technique.

Suite à la difficulté d'obtenir des renseignements concernant le bâti, les bâtiments de référence pour l'analyse du quartier proviennent de fiches présentant des rénovations de bâtiments exemplaires, analysées et développées pour le projet LEHR [Branders A., 2009]. Voici les objectifs du projet LEHR ou « Low Energy Housing Retrofit », financé par la Politique Scientifique Fédérale : « Le projet commence par l'analyse du parc de logements existant, afin d'identifier les typologies de bâtiments pouvant avoir le plus grand effet multiplicateur en terme d'économie d'énergie. En parallèle, des projets exemplaires sont analysés. La performance énergétique du bâtiment et la motivation des propriétaires pour la rénovation sont des aspects importants de l'analyse. Fondé sur les expériences acquises et les développements récents dans le domaine de la recherche, de nouveaux concepts et

composants innovateurs sont développés. Les notions acquises à travers la coopération internationale (participation à IEA SHC Task 37 et observation du projet européen E-RETROFIT-KIT) seront transmises aux consommateurs nationaux dans le cadre d'une stratégie consciente visant à augmenter la pénétration de rénovations poussées sur le marché. » [LEHR, 2009]

Deux projets exemplaires ont été sélectionnés pour notre étude : une ancienne ferme à Chaumont-Gistoux et une ancienne ferme à Bousval. L'intérêt est de pouvoir analyser la situation avant et après rénovation où ces deux fermes rénovées, accueillent plusieurs logements dans leurs dépendances.

Ancienne ferme à Chaumont-Gistoux

La maison servant aux simulations est une ancienne ferme à Chaumont-Gistoux. L'étude analysera le corps de logis de cette ancienne ferme de 1916 (rénové en 2005). Une fiche du projet LEHR développe en détails cette rénovation [Branders A., 2009]. En premier lieu, l'habitation sera analysée dans l'état avant la rénovation de 2005. Lors des phases d'analyse de rénovation de quartier, alors elle sera analysée en envisageant les changements dus à la rénovation (Phase IV). Le plan d'implantation de ce corps de logis à Chaumont-Gistoux représente un ensemble correspondant au type mixte. C'est pourquoi la modélisation par Tas de l'environnement du bâtiment étudié est restée celui d'origine. Cette maison quasi mitoyenne de 7.5m sur 9.5, est entièrement sur cave, possède un étage et des combles. Le salon et la salle à manger donnant l'un sur l'autre, forment deux pièces en enfilade de façade (NE) à façade (SO). Au rez-de-chaussée il y a également une cuisine (SO) et un hall (NE). A l'étage se trouve 3 chambres (2 au NE et 1 au SO) et une salle de bain (SO). L'ensemble a été modélisé en 14 zones.

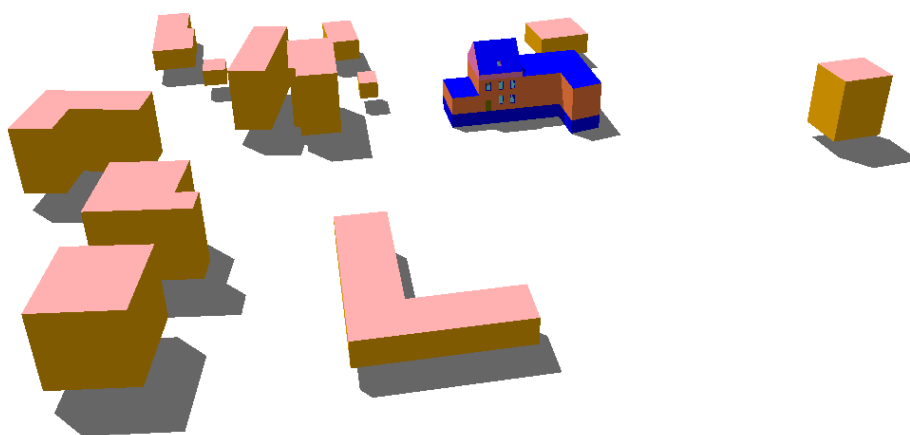


Figure 29 : Modélisation Tas de la ferme de Chaumont-Gistoux, quartier Mixte

Ancienne ferme à Bousval

La maison servant aux simulations est une ancienne ferme à Bousval. L'étude analysera le corps de logis (RDC et 1 étage) de cette ancienne ferme de 1403 (rénovée en 2007-2009). Les bâtiments annexes seront considérés comme utilitaires et ne seront pas chauffés. Les bâtiments voisins ainsi que ceux mitoyens au logis seront considérés comme des granges. Une fiche du projet LEHR développe en détails cette rénovation [Branders A., 2009]. Cette fiche met en avant le caractère ancien et rural de la ferme : « Bousval présente un habitat dispersé, héritage de la division du territoire en petites seigneuries. Le paysage, qui a été creusé par la Dyle [...] est très vallonné et diversifié. [...] La ferme se dresse sur un promontoire, face au château de Bousval. » Ce type d'implantation est typiquement rural et n'est donc pas représentatif du périurbain étudié. Pour la modélisation de l'environnement, la ferme est donc placée dans le quartier mixte étudié de manière à l'intégrer à l'étude du quartier.

L'habitation est analysée dans l'état avant la rénovation de 2007-2009. Lors des phases d'analyse de rénovation de quartier (Phase IV), alors elle sera analysée en envisageant les changements dus à la rénovation comme par exemple, le changement de fonction de la grange qui devient une habitation.

Cette ancienne ferme de +/- 21 m sur 7, 3 façades, mitoyenne à une grange est munie de beaucoup de petites annexes. Elle possède un étage et des combles et repose sur des caves que nous modéliserons comme étant sous tout le bâtiment. Au rez-de-chaussée, se trouvent un bureau « isolé » du côté de la grange (E et O), puis, de l'autre côté de la trame d'escalier, un salon (O), une cuisine (O) et une salle à manger (O et S). Cette habitation est grande et comprend beaucoup d'annexes mais dans sa fonctionnalité de ferme, elle doit permettre d'y travailler et d'y exploiter les produits de la ferme. A l'étage, il y a deux chambres donnant sur la cours (O), une salle de bain dans un coin (O et S) et une troisième chambre dans un coin donnant sur le jardin (S et E). La pièce au-dessus du bureau n'est pas habitée, elle est considérée comme un grenier (appartenant à l'enveloppe isolée de la maison).

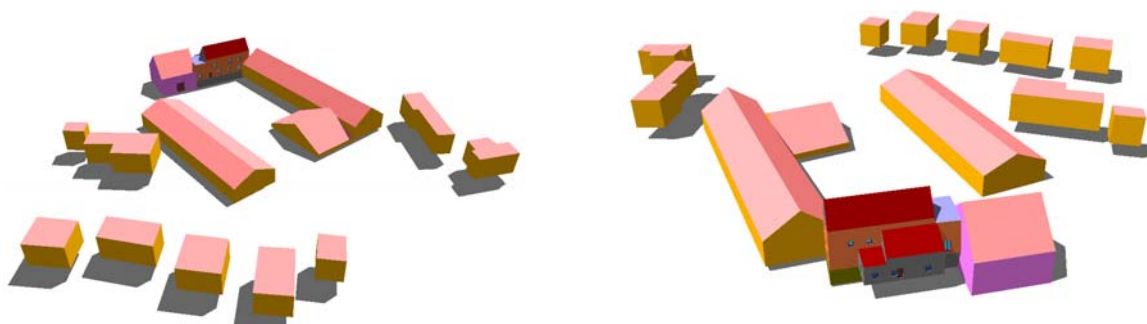


Figure 30 : Modélisation Tas de la ferme de Bousval, quartier Mixte

Toutes les conditions internes sont décrites ci-dessous et tous les plans sont repris dans l'annexe 1.

5.1.2. Fichier météo

Deux fichiers météo sont exploités lors des simulations. Le premier fichier, celui de bases reprend les données climatiques d'Uccle. Le second, se base sur des données climatiques de Saint-Hubert et permet d'aborder et d'analyser des situations plus « extrêmes ». Les

fichiers météo du logiciel de simulation TAS ne donnait pas les directions des vents, données indispensables pour calculer les pressions du vent sur les parois. C'est pourquoi l'étude se base sur les fichiers météo « IWECC Weather Files » (International Weather for Energy Calculations) [ASHRAE, 2009].

Le logiciel TAS prend en compte sur cette période de 12 mois : les radiations solaires globales, les radiations solaires diffuses, la couverture nuageuse, les températures, l'humidité relative, la vitesse du vent et la direction du vent. Les fichiers météo reprennent une période de 12 mois lors d'une année type à Uccle. Le tableau ci-dessous reprend les spécificités des deux climats.

Tableau 18 : Caractéristiques des climats d'Uccle et de Saint-Hubert

	Uccle	Saint-Hubert
Localisation	Latitude: N 50° 54' Longitude: E 4° 31'	Latitude: N 50° 1' Longitude: E 5° 24'
Altitude (en m au-dessus du niv. de la mer)	58m	557m
Pression standard à cette altitude	100630 Pa	94810Pa
Année	1990	1985
Température max	34.9 °C	26 °C
Température min	-9.1 °C	-11.2 °C
Température moyenne	10.29°C	6.66°C
Température du sol	12.38°C	7.35 °C

5.1.3. Les parois et leurs performances

Les simulations ont évalué sept différents niveaux de performances de parois. Ce point reprend l'ensemble de ces niveaux de performances et leur implication sur les parois types des différents cas étudiés.

Voici le choix et la détermination des 7 niveaux de performances de l'enveloppe développés au cours de l'étude :

- Le cas **Non isolé (NI)** : composé de parois non isolées
- **Variante « 3 cm »** : constitué de parois avec 3 cm d'isolation ce qui correspond au début de l'isolation des murs (voir rapport précédent). Le volume isolé sera toujours le volume habité c'est-à-dire sans l(es) éventuel(s) comble(s) et/ou cave(s).
- **Variante « 6 cm »** : idem que la variante « 3 cm » (voir rapport précédent)
- **Le standard énergétique actuel (SA)** correspondant à la PEB (Performance énergétique des bâtiments) : ce cas présente des parois correspondantes aux exigences actuelles pour la construction [Energie+, 2010 ; Delmotte C. 2008 ; IBGE, 2010 ; NBN D50-001, 2008 ; NBN B 62-002, 2008 ; T. de Meester, 2010].
- Le standard **Basse énergie (BE)** : standard correspondants à +/- K 30 où le besoin de chauffage annuel $\leq 60 \text{ kWh/m}^2\text{.an}$ [www.ibgebim.be, 2010 ; W. Feist, 2007 ; NBN D50-001, 2008 ; T. de Meester, 2010]
- Le standard **Très basse énergie (TBE)** : standard où le besoin de chauffage annuel $\leq 30 \text{ kWh/m}^2\text{.an}$ [www.ibgebim.be, 2010 ; W. Feist, 2007 ; NBN D50-001, 2008 ; T. de Meester,

2010]

- Le standard **Passif (SP)** : standards définis en Belgique par le PHP (correspond +/- K10 - K12) [www.maisonpassive.be, 2010 ; W. Feist, 2007 ; NBN D50-001, 2008 ; C. Delmotte, 2008 ; www.ibgebim.be, 2010 ; T. de Meester, 2010] où
 - o le besoin spécifique de chauffage < 15 kWh/(m² an)
 - o l'étanchéité du bâtiment doit être très performante ($n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$ sous 50 Pa (test Blower Door))
 - o le pourcentage de surchauffe dans le bâtiment (> 25°C) doit être inférieur ou égal à 5%

Ces 7 niveaux permettent d'avoir une bonne évaluation graduelle des améliorations possible de la qualité des enveloppes des bâtiments étudiés.

5.1.3.1. Les caractéristiques des parois

Les parois des bâtiments étudiés se composent toutes de la même structure et des mêmes matériaux afin de faciliter les comparaisons. Les bâtiments ont tous été dimensionnés avec le logiciel PHPP qui permet d'établir des standards (voir explication du logiciel plus loin). Mais cela implique que chaque bâtiment, pour atteindre les standards BE, TBE et SP, a ses propres besoins spécifiques si bien que même si la structure des parois est identique pour tous, l'épaisseur d'isolants les composants pourra varier entre les bâtiments pour ces trois niveaux d'isolation.

Le choix des matériaux a été défini suite à une discussion entre S. Trachte, C. Massart [de la cellule de recherche Architecture et Climat] et/ou proviennent de la norme NBN 62-002 [NBN B 62-002, 2008]. Les caractéristiques des parois sont reprises dans le tableau ci-après. Le niveau d'isolation représente le standard actuel belge (SA). Les autres niveaux sont traités et détaillés plus bas dans le texte. A part l'isolation, les matériaux et leurs épaisseurs sont identiques pour les 7 niveaux de performances.

L'étude abordera deux types de murs caractéristiques du bâti wallon et les plus répandues : le mur creux avec un parement en brique et le mur plein en brique. Le choix d'un mur plein en brique de 32 cm ressort d'une analyse des fiches de rénovations exemplaires de bâtiments [Branders A., 2010 et LEHR, 2010 et d'une discussion avec C. Massart].

Tableau 19 : Principales parois utilisées dans les simulations

Nom de la paroi	composition	épaisseur e [mm]	conductivité thermique λ [W/m².°C]	Vapeur Diffusion Factor	Densité ρ [kg/m³]	Capacité thermique c [J/kg.K]	diffusivité thermique a [m²/s]	effusivité thermique β [(W/m²K) ^{1/2}]
Mur Ext Creux SA : U=0,393 W/m²K	Enduit plâtre	15	0.52	10	1300	840	6.17143	12.56
	Bloc de béton semi-lourd	140	1.32	100	2000	1000	8.55360	27.08
	Isolation	80	0.04	2	40	840	15.42857	0.61
	Brique	90.00	0.26	10	850	1000	3.96424	7.84
Mur Ext Plein	Enduit plâtre	15	0.52	10	1300	840	6.17143	12.56
	Brique	320.00	0.26	10	850	1000	3.96424	7.84
	Isolation	80	0.04	2	40	840	15.42857	0.61
	Enduit	15	0.52	10	1300	840	6.17143	12.56
Sol SA : U=0,400 W/m²K	Carreaux de grès	10	1.2	9999	2000	840	9.25714	23.66
	Chape béton	70	0.37	100	1200	840	4.75714	10.18
	Isolation	90	0.04	2	40	840	15.42857	0.61
	Hourdis	160	1.23	10	1200	840	15.81429	18.56
Plafond Rdc - Etage : U=0,400 W/m²K	Plancher collé	10	0.13	30	525	1880	1.70699	5.97
	chape béton	70	0.37	100	1200	840	4.75714	10.18
	Hourdis	160	1.23	10	1200	840	15.81429	18.56
	Enduit plâtre	15	0.52	10	1300	840	6.17143	12.56
Plafond Etage - Comble SA : U=0,290 W/m²K	Plancher collé	10	0.13	30	525	1880	1.70699	5.97
	Isolation	130	0.04	2	40	840	15.42857	0.61
	Enduit plâtre	15	0.52	10	1300	840	6.17143	12.56
Toit Etage SA : U=0,290 W/m²K	Plancher collé	10	0.13	30	525	1880	1.70699	5.97
	Isolation	130	0.04	2	40	840	15.42857	0.61
	Tuiles							
Mur Int	Enduit plâtre	15	0.52	10	1300	840	6.17143	12.56
	Bloc de béton semi-lourd	60; 110; 150	1.32	100	2000	1000	8.55360	27.08
	Enduit plâtre	15	0.52	10	1300	840	6.17143	12.56

5.1.3.2. Performances des enveloppes

L'ensemble des bâtiments a été modélisé pour correspondre de manière équivalente aux 7 niveaux énergétiques retenus. Chaque bâtiment possède 7 enveloppes dont les quatre premières sont identiques pour chacun d'eux. Les trois premiers niveaux énergétiques à atteindre (non isolé, 3 cm et 6 cm) n'ont pas d'objectif précis ou de performances à atteindre, ils ont donc été définis par le choix d'épaisseurs fixes d'isolant.

Pour le quatrième niveau (SA), des valeurs de coefficients de transfert thermique pour les parois ont été fixées par une valeur définie par la norme. Mais pour les cas BE, TBE et Passif, représentant des standards, le résultat attendu est une performance globale du bâtiment et afin de répondre à cette attente, tous les bâtiments ont été modélisés avec le logiciel PHPP du *Passivhaus Institut* [W. Feist, 2007] qui permet cette évaluation globale.

Il n'est pas possible de généraliser une enveloppe type pour tous les bâtiments d'un même standard énergétique afin qu'ils correspondent aux performances globales exigées par le basse énergie, le très basse énergie ou le passif. Car cela dépend de plusieurs paramètres comme l'orientation du bâtiment et de ses ouvertures, le pourcentage d'ouvertures, le nombre de parois mitoyennes, la surface énergétique,...

Le logiciel de conception de maison passive PHPP 2007

Le logiciel PHPP, logiciel statique, nous a permis de modéliser les bâtiments avant leur modélisation et simulation sur le logiciel dynamique TAS. Cette première étape nous a permis de concevoir les enveloppes et leurs performances pour tous les bâtiments étudiés et ce, pour les différents niveaux énergétiques analysés (PEB, BE, TBE et Passif).

Cette première approche nous place dans la démarche que suit chaque concepteur qui veut concevoir du BE, du TBE ou encore et surtout du Passif.

L'ensemble de ces modélisations ont été réalisées en respectant le standard PHPP qui impose certaines conditions qui pourront être remises en question aux niveaux des simulations qui permettent une approche plus critique. Citons en certaines :

- La température de consigne est fixée de manière constante à 20°C ce qui peut se comprendre d'un point de vue du dimensionnement même si cela paraît peu réaliste.
- Les apports internes sont fixés à 2.1 W/m² pour le type « Bâtiment résidentiel » avec un usage « Habitation » ce qui est peu selon les mesures effectuées dans la maison Pléiade [De Herde A., Bodart M., 1994], mais basé sur la sécurité quand on envisage que le nombre d'occupants évolue. Ces apports sont de 4.1W/m² lorsque l'usage devient « Résidence assistée ».
- Le nombre d'occupants : l'occupation normale requise pour le standard maison passive dans un « Bâtiment résidentiel » est de 35 m²/ personne. Si la saisie se fait de manière manuelle alors les valeurs limites devront se situer entre minimum 20 m²/pers et maximum 50 m²/pers. Lors de l'analyse de bâtiments sociaux, ces surfaces ne seront pas « réalistes » et ne seront pas respectées (pour la modélisation TAS mais le seront pour la modélisation et la conception PHPP).

Les deux dernières contraintes ne correspondent pas à la réalité des logements sociaux qui bien souvent ont une densité d'occupation plus forte que les 35 m²/ personne imposés.

Cela peut par la suite entraîner davantage de surchauffe qu'initialement prévu. Ce plus grand taux d'occupation implique que les apports internes seront plus grands que ceux fixés par le standard maison passive du PHPP. Pour le cas, Bousval, c'est l'inverse puisque l'espace dépasse la limite des 50 m²/pers il y a aussi moins de GI or ces GI sont capitaux pour le dimensionnement du passif.

Un paramètre assez influent est la *surface de référence énergétique* dont dépend beaucoup de résultats. Il s'agit de « la surface habitable située à l'intérieur de l'enveloppe thermique » [W. Feist, 2007]. Les caves, combles et autres pièces ne sont pas considérées comme une surface habitable. Cependant, si ces pièces possèdent une hauteur de 2 mètres au moins, leurs surfaces pourront, à raison de 60%, être ajoutées à la surface de référence énergétique. Nous n'avons pas considéré les caves et combles pour les différents cas à l'exception de 3 cas sans quoi il aurait été très difficile d'atteindre certains standards : le cas Nappe – Fenouil 7, le cas semi-mitoyen Cité Chavée (pour lequel une porte plus isolante a même été placée) et le cas Mixte – Bousval (pour lequel des portes plus isolantes ont également été placées).

Critères respectés pour correspondre aux Standards belges actuels (SA)

Les standards actuels belges sont en pleine évolution car ils passent d'une exigence d'isolation thermique de K45 en Région Wallonne à l'application des Performances énergétiques du Bâtiments (PEB) qui demandent d'atteindre un certain « niveau E » correspondant au niveau de consommation d'énergie primaire. Ce niveau E, pour les bâtiments résidentiels, tient compte : du bâtiment et des installations de chauffage, de ventilation, d'eau chaude sanitaire et de refroidissement ainsi que de l'utilisation d'une énergie durable [Delmotte C., 2008]. Cette approche est beaucoup plus globale que la précédente qui se limitait uniquement à la performance d'isolation de l'enveloppe. Notons que le Parlement Européen a déclaré dans un communiqué de presse : « Objectif « zéro énergie » pour tous les bâtiments construits à partir de 2019 ». Les choses vont donc encore évoluer...

Pour connaître exactement les besoins du bâtiment étudié lors des simulations, les besoins de chauffage est analysé sans tenir compte d'un quelconque système de chauffage.

Pour adapter notre étude aux exigences du SA, les exigences relatives aux performances des parois seront prises en compte. Le bâtiment sera modélisé sur le PHPP avec une ventilation de type C. Mais les installations de chauffages et d'ECS ne seront pas prises en compte car les simulations expriment la demande de chaleur indépendamment de tout système de chauffage. Le tableau ci-dessous reprend ces valeurs et l'isolation qui se retrouve dans les parois.

Tableau 20 : L'isolation des parois du cas standard belge actuel

	Coefficient de transfert thermique	Isolation (cm)
Mur extérieur	0.4	8
Plancher	0.4	8
Toit	0.3	12

L'infiltration a été fixée à 7.8 h^{-1} sous 50 Pa (= n_{50})

Notons que $n_{50} = Q_{50}/V$ avec,

- n_{50} = le renouvellement d'air pour une différence de pression de 50 Pa ($1/\text{h}$),
- Q_{50} = le débit d'air (m^3/h) insufflé par le ventilateur pour une différence de pression de 50 Pa,
- V = le volume du bâtiment (m^3).

Cela correspond à 0.39 h^{-1} sous 2 Pa. Le taux de ventilation saisonnier moyen de base s'élève à environ 1/20 du taux de ventilation n_{50} mesuré. Cette proportion peut varier entre 1/10 et 1/30 suivant le cas. [Energie+, version 6].

La valeur des $n_{50} = 7,8$ renouvellements d'air par heure sous 50 Pa correspond à une enveloppe moyennement étanche (il s'agit d'une valeur par défaut facile à atteindre mais « défavorable », qui est appliquée si le test d'étanchéité Blower Door, pas obligatoire mais vivement conseillé, n'a pas été effectué) [de Meester T., 2009].

La modélisation de la ventilation des cas « Standard Actuel » a considéré un système de ventilation C. Mais l'analyse s'étendra sur la possibilité d'une ventilation A. Les besoins de chauffages donnés par le PHPP en guise de résultat global de la maison sont repris dans le tableau ci-dessous.

Tableau 21 : Besoin de chaleur de chauffage annuel calculé par le PHPP ($\text{kWh}/\text{m}^2.\text{an}$)

	Nappe F3	Nappe F7	Ruban F3	Mitoyen Foyer Fontainois	Mitoyen Cité Chavée	Mixte Chaumont -Gistoux	Mixte Bousval
Système C	90	97	92	95	93	102	101
Système A	99	106	100	113	109	113	109

Critères respectés pour correspondre au basse énergie

Le niveau de performance basse énergie est essentiellement connu en Région de Bruxelles-Capital grâce à une prime sur la rénovation basse énergie [<http://www.ibgebim.be/>]. La demande de chauffage doit être égal ou inférieur à $60 \text{ kWh}/\text{m}^2.\text{an}$.

Pour atteindre un tel niveau, l'étanchéité du bâtiment doit être importante car lors de rénovations basse énergie, les taux d'infiltrations varient généralement entre +/- 1 et 2 h^{-1} sous 50 Pa [Branders A., 2009]. Le tableau ci-dessous reprend les valeurs caractéristiques des différents bâtiments rénovés et publiés dans les fiches d'A. Branders.

Tableau 22 : Valeurs caractéristiques des différents bâtiments rénovés publiés dans les fiches d'A. Branders

	Maison Ouvrière - Bousval	Ancienne ferme - Bousval	Ancienne ferme à Chaumont- Gistoux	ECO Home - Liège	Maison urbaine mitoyenne - Schaerbeek	Référence guide LEHR
U parois (w/m ² °C)	0.23	0.21	0.17 FAr - 0,53 / 0,32 FAvt	0.29 FAr-0.31 FAvt	0.39-0.42 *	0.3
U toiture (w/m ² °C)	0.18	0.14	0.17	0.17	0.24 - 0.31	0.3
U plancher (w/m ² °C)	0.46	0.12	0.29	0.32	0.18-0.24	0.2
Taux d'infiltration h ⁻¹ sous 50 Pa	2**	2	1.5**	1 ou 2 **	7.8 mais estimé plus faible	1 ou 2
Ventilation	système D + RC	système D + RC	système A	système D + RC	système D + RC	Dépend des possibilités
Besoin de chauffage (kWh/m ² an)	23	32 (PHPP)	34 (PHPP)	40-60	32 (PHPP)	« ≤ 60 »

*comprend des parties moins ou pas isolée

** Taux d'infiltration estimé à cette valeur mais le test Blower Door n'a pas été fait donc doit pouvoir atteindre les 60kwh/m²an avec 7.8 h⁻¹ dans le PHPP pour obtenir la prime basse énergie. Beaucoup de ces exemple sont donc extrêmement performant et atteignant parfois même le niveau très basse énergie.

RC = récupérateur de chaleur

FAr = Façade Arrière

FAvt = Façade Avant

Le taux de ventilation des bâtiments modélisé dans le PHPP et dans TAS a été fixé à 2 h⁻¹ sous 50 Pa soit un taux de ventilation « réel » de 0.1 h⁻¹.

Le type de ventilation retenue pour les simulations est un système C. Ce système C fonctionne lorsqu'il y a la présence de personne dans les maisons de 16h à 8h le lendemain, soit 16h de fonctionnement et s'éteint le reste du temps (en journée).

Le système C et le taux d'infiltration influencent la quantité d'isolant à mettre dans les parois. Le tableau ci-dessous reprend les quantités d'isolation dans les parois des différents cas étudiés. Dans chacun de ces cas, le besoin de chaleur annuel calculé par le PHPP est de 60 kWh/m².an.

Tableau 23 : Isolation (en cm) des parois des différents cas basse énergie étudiés.

	Nappe F3	Nappe F7	Ruban F3	Mitoyen FF	Mitoyen CC	Mixte Chaumont-Gistoux	Mixte Bousval
Mur extérieur	10	12	10	16	26	12	14
Plancher	8	10	8	10	18	8	10
Toit	14	18	16	18	34	15	19

Il est intéressant de remarquer l'impact du système de ventilation et du taux d'infiltration. Si on passe avec les mêmes caractéristiques d'un cas avec un système C à un système D avec récupérateur de chaleur (rendement 85%). Les 50 kWh/(m² an) sont atteints dans le cas Nappe F3. Si de là, on passe à un taux d'infiltrométrie de 2 h⁻¹ à 1 h⁻¹ sous 50 Pa (soit 0.05 h⁻¹), on atteint les 45 kWh/(m² an). Les valeurs sont identiques à 1 kWh/m²an près pour le cas Mixte Chaumont-Gistoux. Pour le cas Mitoyen du Foyer Fontainois, le passage à une ventilation double flux avec récupérateur de chaleur permettra de passer d'un besoin de chaleur de 60 à 42 kWh/(m² an) et le passage de l'infiltrométrie de 2 h⁻¹ à 1 h⁻¹ sous 50Pa permet alors d'atteindre 38 kWh/(m² an) !

Critères respectés pour correspondre au très basse énergie

Le niveau de performance très basse énergie est intermédiaire entre le standard basse énergie et le standard passif. Connu avant et à présent appliqué en tant que standard grâce à une nouvelle prime sur la rénovation très basse énergie en Région de Bruxelles-Capital [<http://www.ibgebim.be/>]. Le besoin de chaleur de chauffage annuel ne peut dépasser les 30 kWh/m².an.

Le système de ventilation retenu pour les simulations est un système D avec récupérateur de chaleur. Ce système D fonctionne également lorsqu'il y a la présence de personne dans les maisons de 16h à 8h le lendemain, soit 16h de fonctionnement et s'éteint le reste du temps. Le récupérateur de chaleur est indispensable à ce niveau de performance et surtout avec une ventilation D. Le logiciel PHPP propose différents modèles de récupérateur de chaleur. Leur rendement tourne autour de 85% et le récupérateur « Comfoair 500 – StorkAir » a servi pour le dimensionnement PHPP suite à une discussion avec Catherine Massart. Son rendement est de 86%. Lors des simulations TAS nous prendront en compte un rendement de récupération de 85%.

Avec une ventilation double flux avec récupérateur de chaleur, il y a deux possibilités de chauffer une habitation :

- Soit de manière « traditionnelle » ou indépendamment de la ventilation avec un système de chauffage séparé du système de ventilation (lors de rénovations, par exemple)
- Soit par la ventilation ce qui implique que le chauffage ne fonctionne que lorsque la ventilation fonctionne

Tout comme pour le niveau basse énergie, l'étanchéité du bâtiment doit être performante et dans le cas très basse énergie, le taux de ventilation des bâtiments modélisés dans le PHPP et dans TAS a été fixé à 1 h⁻¹ sous 50 Pa soit un taux de ventilation

réel de 0.05 h⁻¹. Il n'existe aucune exigence. Mais la norme NBN D 50-001 conseille, pour une ventilation D avec récupérateur de chaleur, un taux d'infiltration $\eta_{50} = 1$ [h⁻¹].

Le chauffage par la ventilation devient possible grâce à la diminution importante de besoins de chauffage. Le tableau ci-dessous reprend la quantité d'isolation dans les parois des différents cas étudiés.

Tableau 24 : Isolation (en cm) des parois des différents cas très basse énergie étudiés.

	Nappe F3	Nappe F7	Ruban F3	Mitoyen FF	Mitoyen CC	Mixte Chaumont -Gistoux	Mixte Bousval
Mur extérieur	16	20	16	22	26	20	22
Plancher	10	12	12	14	18	14	14
Toit	24	26	24	26	34	26	28

Critères respectés pour correspondre au passif

Le passif est un standard bien défini en Belgique. [www.maisonpassive.be/]

- besoin spécifique de chauffage ≤ 15 kWh/m²an
- l'étanchéité du bâtiment doit être très performante ($n_{50} < 0,6$ h⁻¹ sous 50 Pa (test Blower Door))
- le pourcentage de surchauffe dans le bâtiment ($> 25^\circ\text{C}$) $\leq 5\%$

Tout est déterminé et une infiltration de 0.6 h⁻¹ sous 50 Pa correspond à un taux de ventilation réel de 0.03 h⁻¹. On recommande que le besoin d'énergie primaire ne devrait pas dépasser les 120 kWh/m².an, cela inclut l'eau chaude sanitaire, le chauffage et l'électricité auxiliaire.

Le système D avec récupérateur de chaleur est indispensable lorsque la performance de l'enveloppe devient aussi performante. Sans lui, il serait quasi impossible d'atteindre les 15 kWh/(m² an). Les mêmes caractéristiques qu'au très basse énergie seront utilisées pour les modélisations et les simulations. Le chauffage par la ventilation est fréquent grâce à la diminution importante du besoin de chauffage et cela permet d'éviter les surcouts qu'entraînerait un système de chauffage traditionnel par radiateurs. Parfois un poêle peut servir d'appoint. Le tableau ci-dessous reprend la quantité d'isolation dans les parois des différents cas étudiés.

Tableau 25 : Isolation (en cm) des parois des différents cas passif étudiés.

	Nappe F3	Nappe F7	Ruban F3	Mitoyen FF	Mitoyen CC	Mixte Chaumont -Gistoux	Mixte Bousval
Mur extérieur	25	32	26	34	36	28	32
Plancher	18	20	18	20	25	20	20
Toit	30	36	32	36	36	36	34

Afin d'atteindre plus facilement ce standard et dans des conditions d'isolation « normale », les cas Cité Chavée et Bousval auront leurs portes en contact avec l'extérieur isolées (de 5 cm).

Si Le standard passif devient très en vogue pour la construction. Il n'en est pas de même pour la rénovation. Car atteindre un niveau aussi exigeant sur un bâtiment qui n'était pas prévu pour cela à la base peut se révéler très complexe et risque d'engendrer d'énormes modifications. A ce niveau, l'isolation doit être absolument continue et les ponts thermiques ne sont quasi plus tolérés voir plus du tout [de Meester T., 2009]. Si l'isolation se fait par l'intérieur, il faudra automatiquement couper les jonctions plancher-mur de surface. Cela peut amener au procédé dit de « façadisme ». Il est légitime de se demander où se trouvent les limites de la rénovation.

Un très bon exemple est le cas d'une rénovation d'une maison mitoyenne à Eupen. Comme l'illustre la fiche d'Eupen [LEHR, 2009] où la rénovation est de l'ordre du « façadisme » mais elle atteint cependant un niveau passif.

5.1.3.1. Les caractéristiques des ouvertures

Les fenêtres

Les fenêtres sont considérées comme étant fermées. Les cas NI, 3cm, 6cm et parfois le SA fonctionnent avec une ventilation manuelle (système A). Une ouverture des fenêtres est donc modélisée entre 17 et 18h. Elle correspond à une ouverture de 30% de la fenêtre.

Les habitations sont équipée d'un double vitrage pour les niveaux d'isolation : NI, 3cm, 6cm, SA, BE et TBE. Le SP possède lui un triple vitrage. Les vitrages modélisés le sont suivant des modèles Saint-Gobain [Energie+, 2010 et www.saint-gobain.com].

Le double vitrage est un vitrage 6/16/6 avec de l'argon dont le coefficient de transfert thermique (U) est de $U = 1.1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$. Ce vitrage a été modélisé à l'identique dans Tas et atteint un U de $1.22 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$.

Le triple vitrage est un vitrage 4/12/4/12/4 avec de l'air dont le coefficient de transfert thermique (U) est de $U = 0.7 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$. Ce vitrage a été modélisé à l'identique dans Tas et atteint un U de $0.774 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$.

Les portes

Les portes ne s'ouvrent pas. On considère que les déperditions entraînée par leur ouverture sont reprises par les ouvertures régulières des fenêtres. Elles sont en bois de 7 cm d'épaisseur pour les portes d'entrée (densité de 700 kg/m^3) et de 3 cm d'épaisseur pour les portes intérieures (densité de 500 kg/m^3).

Les portes d'entrée des cas Cité Chavée et Bousval pour le niveau du SP sont isolées. Elles se composent de 1.5 cm de bois (700 kg/m^3) – 5 cm d'isolation - 1.5 cm de bois (700 kg/m^3).

5.1.4. Condition internes

Les simulations prennent en compte les gains internes qui dépendent de chaque bâtiment puisque les tailles des maisons et donc leurs nombres d'occupants, de pièces, etc. varient. Il en va de même pour le dimensionnement de la ventilation qui est fait « sur mesure ». Des consignes de chauffage ont également été modélisées.

Les conditions internes jouent un rôle important et leur influence sera étudiée en faisant

varier le mode d'occupation d'une habitation. Plus le bâtiment devient performant, plus les conditions internes se révèlent influentes dans le bilan des consommations du bâtiment. Toutes les consignes sont choisies pour être le plus représentatif de la réalité.

5.1.4.1. Les gains internes

La modélisation des gains internes, prend en compte tout ce qui est susceptible d'émettre de la chaleur à l'intérieur du bâtiment. Ceci est essentiel dans un travail d'analyse à différents niveaux de performance car ils peuvent être à la source de surchauffes,...

Les gains internes (GI) quelle référence ?

Dans le PHPP, une valeur moyenne de **2.1 W/m²** est considérée par défaut et elle est considérée comme étant appliquée en continu ce qui correspond à une approximation du côté de la sécurité permettant le dimensionnement du chauffage mais cela n'est pas assez réaliste pour notre étude.

Le monitoring de la maison Pléiade [De Herde A., Bodart M., 1994] a révélé :

*« Les différentes campagnes de mesure ont montré que cette valeur moyenne [de gains internes prise en compte dans les simulations], déterminée d'après la littérature, est fortement surestimée pour la maison PLEIADE : en effet, la valeur obtenue est de **2,57 W/m²** chauffé (tous les jours confondus, week-ends et jours de semaine). Il faut signaler ici que plusieurs appareils électriques (lave-linge, sèche-linge et frigo) sont installés dans la cave et que celle-ci est isolée du volume chauffé de la maison. »*

Cette valeur de gains internes obtenues expérimentalement est supérieure à la valeur considérée par le calcul PHPP surtout lorsqu'on considère que « plusieurs appareils électriques (lave-linge, sèche-linge et frigo) » ne sont pas pris en compte.

C'est cette deuxième référence que nous garderons.

L'étude tiens à concrétiser ses GI en attribuant aux éléments « émetteurs » une valeur personnalisée. La feuille « Apports interne » du PHPP propose un calcul des charges internes. Le tableau ci-dessous reprend les valeurs évaluées par le logiciel pour chacun des bâtiments.

Tableau 26 : Charges internes proposées pour les sept cas par le logiciel PHPP

	Nappe F3	Nappe F7	Ruban F3	Mitoyen FF	Mitoyen CC	Mixte Chaumon t-Gistoux	Mixte Bousval
Occupants (P)	5.3	3.1	5.3	2.1	1.5	3.3	8.1
Surface réf. énerg. (m ²)	185	108	185	74	51	116	284
Utilisation	Apport de chaleur interne (W)						
Vaisselle	14	8	14	6	4	9	22
Lessive	11	7	11	5	3	7	17
Séchage du linge:	74	43	74	29	20	46	113
Réfrigérateur	33	33	33	33	33	33	33
Congélateur	37	37	37	37	37	37	37
Cuisson	38	22	38	15	10	24	58
Eclairage	105	61	105	42	29	66	161

Electronique	26	15	26	11	7	17	41
Petit matériel / autres	30	18	30	12	8	19	46
Occupants	232	136	232	93	64	146	357
Eau froide	-26	-15	-26	-11	-7	-17	-41
Evaporation	-132	-77	-132	-53	-37	-83	-203
Total (W)	441	287	441	218	172	303	641
Valeur spécifique (W/m²)	2.39	3	2.39	2.95	3.36	2.61	2
Chaleur apports internes (kWh/(m²a))	11.7	13	11.7	14.5	16.5	12.8	11

Ces hypothèses seront adaptées pour la modélisation TAS. L'intérêt de TAS est de pouvoir personnaliser pour chaque pièce les gains qui lui sont propres et de les faire varier au cours de la journée. Les occupations suivront donc un cycle journalier au cours duquel, l'habitation se videra aux heures de bureau/école. Les gains seront répartis entre les différentes pièces de la maison. De cette occupation découlera l'éclairage, l'utilisation de télévision ou d'ordinateur ou encore la cuisson de repas. La modélisation des gains internes dans TAS prendra en compte les différents types d'électroménager.

Le fait que le PHPP sous-estime les gains internes est intéressant du point de vue du dimensionnement du chauffage. Cela permet d'être plus prévenant dans le cas où un bâtiment devrait être moins peuplé que prévu (par exemple suite à l'évolution d'une famille où les enfants finissent par « quitter le nid »). Cependant dans le cas de bâtiments passif, cela risque de minimiser les risques de surchauffes en été.

Lors de la modélisation PHPP des habitations, les valeurs du « standard » ont été respectées à savoir respect des 2.1W/m² pour les apports internes sauf pour le cas de la cité Chavée où pour « l'usage » du bâtiment, au lieu de garder la catégorie « Habitation » qui impose les 2.1W/m², comme pour les autres, c'est la catégorie « Résidence assistée » qui a été sélectionné. Cela garanti une valeur de 4.1W/m² pour les apports internes. C'est la petite taille de ce logement social et le fait que seul « une personne et demie » ne soient considérées au lieu de deux qui a poussé à changer de catégorie. Sans cela, atteindre certain standard était difficile.

Les gains internes modélisés

Les modélisations des gains internes dans TAS vont s'efforcé d'être le plus fidèle à la réalité de manière à pouvoir analyser les besoins exactes de chauffage en fonction des pièces et également de cibler les problèmes de surchauffes, leurs lieux et les moments les plus critiques.

Ces gains internes sont définis sur une journée et sont constants tout au long de la semaine et de l'année. Cette modélisation des gains internes ne prend pas en compte les congés passés dans la maison ni ceux passés hors de la maison (tels les weekends ou les grandes vacances). Cela reste une moyenne. La répartition des gains internes varie d'une maison à l'autre suite aux différences de taille et de nombre de pièces mais les valeurs des émissions des équipements sont fixées. Les profils des GI sont détaillés par bâtiments et pour chaque pièce plus bas et les valeurs des émissions prises en compte sont décrites ci-dessous [www.ibgebim.be, May 2010 ; W. Feist, 2007] :

- Occupation : émission de chaleur : 80W. Le profil d'occupation est propre à chaque habitation et peut varier de 0,1, 2, 3, 4 ou encore 5 personnes).
- Frigo, vaisselle, électroménager : Hypothèse PHPP (pour 4 personnes) :
 - o Frigo + congélateur : 0.85 kWh/jour (35 W en continu)
 - o Vaisselle : 0,3 (disponibilité) * 1,1 (kWh/usage) * 65 (usages/(an.pers)) (10 W en continu)
 - o Electroménager : 50 kWh/an/pers (23W en continu)
- Télévision et ordinateur
 - o Emission de chaleur TV : 150 W [IBGE et ABEA, 2009]
 - o Emission de chaleur ordinateur : 70 W [IBGE et ABEA, 2009]
- Cuisson : émission de chaleur : 912W ou 3283kJ/h - 65 (usages/(an.pers))
- Eclairage : émission de chaleur : 6 W/m² [B. Roisin 2010]. Le profil d'émission de la lumière est fixé et n'est par conséquent pas couplé avec des conditions sur l'éclairement extérieur.
- Douche : émission de chaleur : 1486 W ou 5350 kJ/h : 1486W/douche (ex : si « x » douches, 6min/douche cela fait : $1486 * x * 6 / 60 = \text{nb de W en une heure}$)

Les gains ont été considérés sous leur forme sensible plutôt que sous celle latente. L'apport de gains internes est composée d'une part convective et d'une part radiative. Cela se modélise dans Tas non pas en fonction du gain en question mais par pièce et pour 3 paramètres. Le tableau ci-dessous reprend les valeurs modélisées.

Tableau 27 : Proportion de part convective et de part radiative par pièce

Radiant proportion (0-1)	facteur d'occupation	facteur d'équipement	facteur lumière
Séjour	0.05	0.9	0.6
cuisine	0.05	0.5	0.6
bureau	0.05	0.9	0.6
chambre	0.05	0.1	0.6
salle de bain	0.05	1	0.6

Le monozone

La première approche a consisté en développant un modèle monozone dans le but de comparer l'utilisation de ce modèle avec des modèles multizones. Ces simulations ont été abordées au chapitre « Impact des choix méthodologiques ». Pour comparer des cas les plus proches possibles, l'impact des gains internes a été neutralisé en les rendant constant à toute heure du jour. En suivant les résultats du monitoring de la maison Pléiade [De Herde A., Bodart M., 1994], la valeur de ces gains internes a été fixée à 3 W/m². L'approche du multizone se fait en deux parties. D'abord cette valeur de 3 W/m² a été imposée dans toutes les pièces de manière constante. Par la suite, ces 3 W/m² ont été répartis dans la maison entre les occupants et les appareils. Ces simulations ont été réalisées sur base du cas Nappe - Fenouil 3 pour lequel, l'ensemble des GI sont détaillés par pièce.

Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3

Cette maison sert de référence pour beaucoup de simulations paramétrées. De ce fait, il y a plusieurs profils de gains internes (GI) qui ont été modélisés pour ce bâtiment (en tout, 6). Car c'est sur base de ces différents profils que s'est déroulé l'étude de l'impact des plusieurs modes d'occupation.

GI de base

Ce profil de GI est à la base de la majorité des simulations sur ce bâtiment représentant l'utilisation d'un couple actif travaillent à l'extérieur durant la journée pendant que leurs trois enfants vont à l'école. Ce sont également les GI de base de la maison représentant le quartier Ruban. La répartition des personnes à travers les pièces est illustrée par le tableau ci-dessous.

Tableau 28 : Répartition horaire des personnes à travers les pièces

Tranche horaire	0-7h	7h-8	8h-16h	16h-17h	17h-18h	18h-19h	19h-20h	20h-21h	21h-22h	22h-23h	23h-24h
Total maison	5	5		4	5	5	5	5	5	5	5
Living		3		1	4	4	4	4	4		
Cuisine		1					1	1			
Bureau					1	1					
Ch.1 Parents	2									2	2
Ch.2-3-4 Enfants	1			1						1	1
Salle de bain		1							1		

Le tableau ci-dessous reprend en détail, l'ensemble des GI de base pour chaque pièce. Ils sont résumables par ceci :

- Nombre total de m² : 184.53
- Nombre total de W en une journée : 14119.20
- Nombre total de W/m² en moyenne : 3.19

Tableau 29 : Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3 : gains internes de base

	W	W/m²	nb h	nb W total
Living 47.067 m²				
Lumière	282.40	6	6	1694.412
occupation 4 pers	320	6.80	5	1600
occupation 3	240	5.10	1	240
occupation 1 pers	80	1.70	1	80
Tv	150	3.19	2	300
Total				3914.412
Cuisine 20.267 m²				
Lumière	121.60	6	3	364.806
occupation	80	3.95	3	240
Frigo+vaiselle+électroM	68	3.36	23	1564
idem au-dessus + taque	980	48.35	1	980
Total				3148.806
Bureau 11.437 m²				
Lumière	68.62	6	2	137.244
occupation	80	6.99	2	160
pc	70	6.12	2	140
Total				437.244
Chambre 1 17.883 m²				
Lumière	107.30	6	2	214.596
occupation	160	8.95	9	1440
Total				1654.596
Chambre 2 16.165 m²				
Lumière	96.99	6	3	290.97
occupation	80	4.95	11	880
Total				1170.97
Chambre 3 15.864 m²				
Lumière	95.18	6	3	285.552
occupation	80	5.04	11	880
Total				1165.552
Chambre 4 13.028 m²				
Lumière	78.17	6	3	234.504
occupation	80	6.14	11	880
Total				1114.504
Sdb 13.693 m²				
Lumière	82.16	6	2	164.316
occupation	80	5.84	2	160
douche	594.4	43.41	2	1188.8
Total				1513.116

GI 2

Ces GI dit « GI2 », sont une variante des GI de base. Ils représentent l'utilisation d'un couple d'indépendants ou de sans-emplois travaillant ou se trouvant à la maison durant la journée pendant que leurs trois enfants vont à l'école.

Le tableau ci-dessous reprend en détail, les GI modifiés par rapport aux GI de base. Ils sont résumables par ceci :

- Nombre total de m² : 182.806
- Nombre total de W en une journée : 18671.344
- Nombre total de W/m² en moyenne : 4.256

Tableau 30 : Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3 : gains internes 2

	W	W/m ²	nb h	nb W total
Living	47.067	m ²		
Lumière	282.40	6	12	3388.824
occupation 4 pers	320	6.80	5	1600
occupation 3	240	5.10	1	240
occupation 1 pers	80	1.70	8	640
Tv	150	3.19	3	450
Total				6318.824
Cuisine	20.267	m ²		
Lumière	121.60	6	3	364.806
occupation	80	3.95	4	320
Frigo+vaisselle+électroM	68	3.36	22	1496
idem au-dessus + taque	980	48.35	1	980
idem au-dessus + taque	524	25.85	1	524
Total				3684.806
Bureau	11.437	m ²		
Lumière	68.62	6	8	548.976
occupation	80	6.99	10	800
pc	70	6.12	10	700
Total				2048.976

GI 3

Ces GI dit « GI3 », représentent couple actif sans enfants travaillant ou se trouvant à l'extérieur durant la journée. L'absence de 3 occupants entraîne une absence de GI dans les chambres 2, 3 et 4 où le chauffage et la ventilation y seront coupés. Le tableau ci-dessous reprend en détail, les GI modifiés par rapport aux GI de base. Les GI des chambres 2, 3 et 4 sont nuls. Ils sont synthétisés par ceci :

- Nombre total de m² : 182.81 (surface de modélisation) mais 137.749 (surface habitée)
- Nombre total de W en une journée : 7328.594
- Nombre total de W/m² en moyenne : 1.670 (pour 182.81 m²) ou 2.217 (pour 137.749 m²)

Tableau 31 : Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3 : gains internes 3

	W	W/m²	nb h	nb W total
Living	47.067	m²		
Lumière	282.402	6	6	1694.412
occupation 4 pers	320	6.80	0	0
occupation 3	160	3.40	2	320
occupation 1 pers	80	1.70	4	320
Tv	150	3.19	1	150
Total				2484.412
Cuisine	20.267	m²		
Lumière	121.602	6	3	364.806
occupation	80	3.95	2	160
Frigo+vaisselle+électroM	51.4	2.54	23	1182.2
idem au-dessus + taque	507.4	25.04	1	507.4
Total				2214.406
Bureau	11.437	m²		
Lumière	68.622	6	1	68.622
occupation	80	6.99	1	80
pc	70	6.12	1	70
Total				218.622
Sdb	13.693	m²		
Lumière	82.158	6	1	82.158
occupation	80	5.84	1	80
douche	594.4	43.41	1	594.4
Total				756.558

GI 3bis

Ces GI dit « GI3bis », sont une variante des GI3. Ils représentent toujours un couple actif sans enfants travaillant ou se trouvant à l'extérieur durant la journée. Mais, ici, le couple n'occupe plus que le rez-de-chaussée. Ce qui implique que le bureau du rez-de-chaussée fait office de « chambre parents ». Les habitants n'utilisent plus l'étage où le chauffage et la ventilation y seront coupés. La salle de bain encore présente dans le GI3 ne l'est plus ici. Le tableau ci-dessous reprend en détail, les GI modifiés par rapport aux GI de base. Les GI à l'étage sont nuls. Ils sont résumables par ceci :

- Nombre total de m² : 182.806 (surface de modélisation) mais 91.033 (surface habitée)
- Nombre total de W en une journée : 6494.684
- Nombre total de W/m² en moyenne : 1.480 (pour 182.81 m²) ou 2.973 (pour 91.033 m²)

Tableau 32 : Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3 : gains internes 3bis

	W	W/m²	nb h	nb W total
Living	47.067	m²		
Lumière	282.40	6	6	1694.412
occupation 4 pers	320	6.80	0	0
occupation 3	160	3.40	3	480
occupation 1 pers	80	1.70	3	240
pc	70	1.49		0
Tv	150	3.19	1	150
Total				2564.412
Bureau	11.437	m²		
Lumière	68.62	6	3	205.866
occupation	160	13.99	9	1440
pc	70	6.12	1	70
Total				1715.866

GI 4

Ces GI dit « GI4 », représentent un couple de personnes retraitées et pas très actives restant beaucoup de leur temps chez eux. Le couple n'occupe plus que le rez-de-chaussée ce qui implique que le bureau du rez-de-chaussée fait office de « chambre parents ». Les habitants n'utilisent plus l'étage où le chauffage et la ventilation y seront coupés. Le tableau ci-dessous reprend en détail, les GI modifiés par rapport aux GI de base. Les GI à l'étage sont nuls. Ils sont résumables par ceci :

- Nombre total de m² : 182.806 (surface de modélisation) mais 91.033 (surface habitée)
- Nombre total de W en une journée : 8322.862
- Nombre total de W/m² en moyenne : 1.897 (pour 182.81 m²) ou 3.809 (pour 91.033 m²)

Tableau 33 : Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3 : gains internes 4

	W	W/m²	nb h	nb W total
Living	47.067	m²		
Lumière	282.40	6	7	1976.81
occupation 3	160	3.40	9	1440
occupation 1 pers	80	1.70	3	240
Tv	150	3.19	2	300
Total				3956.814
Cuisine	20.267	m²		
Lumière	121.60	6	2	243.20
occupation	80	3.95	3	240
Frigo+vaisselle+électroM	51.4	2.54	22	1130.8
idem au-dessus + taque	507.4	25.04	2	1014.8
Total				2628.804
Bureau	11.437	m²		

Lumière	68.62	6	2	137.24
occupation	160	13.99	10	1600
Total				1737.244

GI 4bis

Cette variante des GI4, représentent toujours un couple de personnes retraitées et pas très actives restant beaucoup de leur temps chez eux. Seulement, ici, ils occupent encore une partie de l'étage. Mais l'absence de 3 occupants entraine une absence de GI dans les chambres 2, 3 et 4 où le chauffage et la ventilation y seront coupés. Le tableau ci-dessous reprend en détail, les GI modifiés par rapport aux GI de base. Les GI des chambres 2, 3 et 4 et du bureau sont nuls. Ils sont résumables par ceci :

- Nombre total de m² : 182.806 (surface de modélisation) mais 126.312 (surface habitée)
- Nombre total de W en une journée : 9076.772
- Nombre total de W/m² en moyenne : 2.069 (pour 182.81 m²) ou 2.994 (pour 126.312 m²)

Tableau 34 : Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3 : gains internes 4bis

	W	W/m ²	nb h	nb W total
Living 47.067 m ²				
Lumière	282.40	6	7	1976.81
occupation 3	160	3.40	8	1280
occupation 1 pers	80	1.70	4	320
Tv	150	3.19	2	300
Total				3876.814
Chambre 1 17.883 m ²				
Lumière	107.30	6	2	214.60
occupation	160	8.95	10	1600
Total				1814.596
Sdb 13.693 m ²				
Lumière	82.158	6	1	82.158
occupation	80	5.84	1	80
douche	594.4	43.41	1	594.4
Total				756.558

Maison unifamiliale « 4 façades » Fenouil 7

Pour ce cas, il n'y a qu'un seul profil de GI développé. Ils représentent l'utilisation de cette maison par un couple actif travaillant à l'extérieur durant la journée pendant que leur enfant va à l'école. Le tableau ci-dessous reprend en détail, l'ensemble des GI pour chaque pièce. Ils sont résumables par ceci :

- Nombre total de m² : 97.098
- Nombre total de W en une journée : 8363.812
- Nombre total de W/m² en moyenne : 3.589

Tableau 35 : Maison unifamiliale « 4façades » Fenouil 7 : gains internes

	W	W/m²	nb h	nb W total
Living 25.861 m²				
Lumière	155.166	6	6	930.996
occupation 3 pers	240	9.28	1	240
occupation 2	160	6.19	4	640
occupation 1 pers	80	3.09	2	160
Tv	150	5.80	2	300
Total				2270.996
Cuisine 9.271 m²				
Lumière	55.626	6	2	111.252
occupation	80	8.63	2	160
Frigo+vaisselle+électroM	59.5	6.42	23	1368.5
idem au-dessus + taque	743.5	80.20	1	743.5
Total				2383.252
Bureau 6.203 m²				
Lumière	37.218	6	2	74.436
occupation	80	12.90	2	160
pc	70	11.28	2	140
Total				374.436
Chambre 1 15.124 m²				
Lumière	90.744	6	2	181.488
occupation	160	10.58	9	1440
Total				1621.488
Chambre 2 19.231 m²				
Lumière	115.386	6	3	346.158
occupation	80	4.16	10	800
Total				1146.158
Sdb 6.947 m²				
Lumière	41.682	6	1	41.682
occupation	80	11.52	1	80
douche 1pers	148.6	21.39	1	148.6
douche 2pers	297.2	42.78	1	297.2
Total				567.482

Maison sociale « 2 façades » du Foyer Fontainois

Si pour la maison Nappe F3, nous sommes partis avec l'idée d'un GI de 3 W/m², cette valeur ne peut être gardée pour les autres cas. La maison Nappe F3 fait 182 m² celle du Foyer Fontainois du quartier Semi-Mitoyen en fait 73 ce qui rend la valeur 3W/m² irréalisable.

Remarquons que la présence de 4 personnes est envisageable ce qui n'est pas « légal » au sens du PHPP qui compte minimum 20 m² / personne (et max 50 m² / personne) ce qui n'est tout juste pas atteint dans notre cas (73.83 m² contre 80 m² exigé pour 4 personnes).

Un seul profil de GI est développé pour ce cas. Il représente l'utilisation de cette maison par un couple actif travaillant à l'extérieur durant la journée pendant que leurs 2 enfants

vont à l'école. Le tableau ci-dessous reprend en détail, l'ensemble des GI pour chaque pièce. Ils sont résumables par ceci :

- Nombre total de m² : 73.832
- Nombre total de W en une journée : 11551.894
- Nombre total de W/m² en moyenne : 6.519

Tableau 36 : Maison sociale « 2 façades » du Foyer Fontainois : gains internes

	W	W/m ²	nb h	nb W total
Living	21.72	m²		
Lumière	130.32	6	6	781.92
occupation 4 pers	320	14.73	2	640
occupation 3	240	11.05	2	480
occupation 2	160	7.37	1	160
occupation 1 pers	80	3.68	2	160
Tv	150	6.91	2	300
Total				2521.92
Cuisine	7.728	m²		
Lumière	46.37	6	2	92.736
occupation	80	10.35	2	160
Frigo+vaisselle+électroM	68	8.80	23	1564
idem au-dessus + taque	980	126.81	1	980
Total				2796.736
Chambre 1	7.798	m²		
Lumière	46.79	6	3	140.364
occupation	80	10.26	11	880
Total				1020.364
Chambre 2	12.781	m²		
Lumière	76.69	6	2	153.372
occupation	160	12.52	9	1440
Total				1593.372
Chambre 3	7.493	m²		
Lumière	44.96	6	3	134.874
occupation	80	10.68	11	880
Total				1014.874
Sdb	6.319	m²		
Lumière	37.91	6	2	75.828
occupation	80	12.66	2	160
douche	594.4	94.07	2	1188.8
Total				1424.628

Maison sociale « 3 façades » de la Cité Chavée

Pour ce cas, un profil de GI a été développé. Ils représentent l'utilisation de cette maison par un couple actif (sans enfants) travaillant à l'extérieur durant la journée. Le tableau ci-dessous reprend en détail, l'ensemble des GI pour chaque pièce. Ils sont résumables par ceci :

- Nombre total de m² : 37.478
- Nombre total de W en une journée : 5374.278
- Nombre total de W/m² en moyenne : 5.975

Tableau 37 : Maison sociale « 3 façades » de la Cité Chavée : gains internes

	W	W/m ²	nb h	nb W total
Living	13.057	m ²		
Lumière	78.342	6	4	313.368
occupation 2	160	12.25	3	480
occupation 1 pers	80	6.13	3	240
Tv	150	11.49	1	150
Total				1183.368
Cuisine	8.456	m ²		
Lumière	50.74	6	1	50.736
occupation	80	9.46	1	80
Frigo+vaisselle+électroM	68	8.04	23	1564
idem au-dessus + taque	524	61.97	1	524
Total				2218.736
Chambre 1	9.864	m ²		
Lumière	59.18	6	2	118.368
occupation	160	16.22	9	1440
Total				1558.368
Sdb	6.101	m ²		
Lumière	36.61	6	1	36.606
occupation	80	13.11	1	80
douche	297.2	48.71	1	297.2
Total				413.806

Ancienne ferme à Chaumont-Gistoux

Un profil de GI est développé pour ce cas. Il représente l'utilisation de cette ancienne ferme par un couple actif travaillant à l'extérieur durant la journée pendant que leurs 2 enfants vont à l'école. Le tableau ci-dessous reprend en détail, l'ensemble des GI pour chaque pièce. Ils sont résumables par ceci :

- Nombre total de m² : 116.089
- Nombre total de W en une journée : 12431.512
- Nombre total de W/m² en moyenne : 4.462

Tableau 38 : Ancienne ferme à Chaumont-Gistoux : gains internes

	W	W/m²	nb h	nb W total
Living	38.971	m²		
Lumière	233.83	6	6	1402.96
occupation 4 pers	320	8.21	2	640
occupation 3	240	6.16	2	480
occupation 2	160	4.11	1	160
occupation 1 pers	80	2.05	2	160
Tv	150	3.85	2	300
Total				3142.96
Cuisine	7.102	m²		
Lumière	42.61	6	2	85.22
occupation	80	11.26	2	160
Frigo+vaisselle+électroM	68	9.57	23	1564
idem au-dessus + taque	980	137.99	1	980
Total				2789.22
Chambre 1	16.615	m²		
Lumière	99.69	6	3	299.07
occupation	80	4.81	11	880
Total				1179.07
Chambre 2	18.584	m²		
Lumière	111.50	6	2	223.01
occupation	160	8.61	9	1440
Total				1663.01
Chambre 3	9.021	m²		
Lumière	54.13	6	3	162.38
occupation	80	8.87	11	880
Total				1042.38
Sdb	7.173	m²		
Lumière	43.04	6	2	86.08
occupation	80	11.15	2	160
douche	594.4	82.87	2	1188.80
Total				1434.88

Ancienne ferme à Bousval

Un profil de GI est développé pour ce cas. Il représente l'utilisation de cette ancienne ferme par un couple actif travaillant à l'extérieur durant la journée pendant que leurs 2 enfants vont à l'école. Le tableau ci-dessous reprend en détail, l'ensemble des GI pour chaque pièce. Ils sont résumables par ceci :

- Nombre total de m² : 208.61
- Nombre total de W en une journée : 11279.692
- Nombre total de W/m² en moyenne : 2.253

Tableau 39 : Ancienne ferme à Bousval : gains internes

	W	W/m²	nb h	nb W total
Salon	38.319	m²		
Lumière	229.914	6	5	1149.57
occupation 4 pers	320	8.35	1	320
occupation 3 pers	240	6.26	2	480
occupation 1 pers	80	2.09	1	80
Tv	150	3.91	2	300
Total				2329.57
Cuisine	20.896	m²		
Lumière	125.376	6	2	250.752
occupation	80	3.83	2	160
Frigo+vaisselle+électroM	68	3.25	23	1564
idem au-dessus + taque	752	35.99	1	752
Total				2726.752
Salle à manger	29.373	m²		
Lumière	176.238	6	2	352.476
occupation 3 pers	240	8.17	1	240
occupation 2pers	160	5.45	1	160
Total				752.476
Bureau	26.607	m²		
Lumière	159.642	6	2	319.284
occupation	80	3.01	2	160
pc	70	2.63	2	140
Total				619.284
Chambre 1	15.007	m²		
Lumière	90.042	6	3	270.126
occupation	80	5.33	11	880
Total				1150.126
Chambre 2 - PARENTS	19.747	m²		
Lumière	118.482	6	2	236.964
occupation	160	8.10	9	1440
Total				1676.964
Chambre 3	14.106	m²		
Lumière	84.636	6	3	253.908
occupation	80	5.67	11	880
Total				1133.908
Sdb	11.351	m²		
Lumière	68.106	6	2	136.212
occupation	80	7.048	2	160
douche 2pers	297.2	26.18	2	594.4
Total				890.612

5.1.4.2. La ventilation

La norme NBN D50-001 permet de déterminer les débits des ventilations des bâtiments étudiés. La ventilation est à la base même du confort respiratoire car elle est le garant de la qualité de l'air. Plus un bâtiment est isolé, plus son enveloppe devient étanche à l'air et en l'absence de ventilation, l'air intérieur est de moins en moins renouvelé, le taux d'humidité augmente et finit par causer des dégâts importants (moisissures, détérioration des peintures, etc.). C'est la fonction de la pièce qui impose son taux de ventilation.

Lors des simulations, la ventilation fonctionne lorsque les gens sont présents dans la maison (sauf contre indication). En effet la norme permet le dimensionnement des systèmes de ventilation mais ne précise rien quant à la fréquence de ses utilisations. Pour la modélisation des bâtiments, nous avons développé 3 types différents de ventilation par bâtiment : la A, la C et la D. [NBN D50-001, 2008, et C. Baltus et al., 2004]

Système A : pulsion et extraction manuelle

La ventilation avec pulsion et extraction manuelle dit système A est envisagée pour 4 cas : le cas sans isolation, celui avec 3 cm d'isolation, celui avec 6 cm et le standard actuel. En dessous d'un certain niveau d'isolation, la ventilation reste manuelle car il n'y a aucun intérêt à installer une ventilation mécanique qui serait d'ailleurs perturbée par des contre-courants dus aux infiltrations d'air dans le bâtiment. Bien que ce système soit préconisé avec l'installation de grilles sur la fenêtre ou dans le mur avec minimum trois positions d'ouverture, il a été modélisé par des ouvertures de fenêtre. Cela semblait plus représentatif du bâti wallon et des habitudes des gens. Le standard actuel peut tant qu'il correspond aux exigences fixées, avoir la ventilation choisie par les concepteurs du bâtiment. C'est pourquoi ce cas sera testé avec un système A et C.

L'ouverture des fenêtres a lieu entre 17h et 18h. Cette ouverture correspond à 30% de la surface de la fenêtre. Chaque bâtiment est donc aéré en fonction de la taille de ses fenêtres et non d'un volume fixé par un renouvellement type du volume d'air de la pièce.

Système C : pulsion manuelle et extraction mécanique

La ventilation avec pulsion manuelle et extraction mécanique a été modélisée pour le standard actuel belge (SA) et le niveau basse énergie (BE). Elle a été calculée selon la norme D50-001. Les systèmes de ventilation mécanique doivent posséder trois positions pour régler la vitesse du débit. Deux débits ont été systématiquement analysés : le débit correspondant aux exigences de la norme dont la vitesse est la plus grande (la vitesse 3) et le débit correspondant à la position 1 qui est la vitesse la plus faible (la vitesse 1). Il ressort de discussions avec des personnes de terrain que la vitesse 3 est peu utilisée dans la pratique mais que la vitesse de référence est la vitesse 1 et parfois, les autres vitesses sont enclenchées ponctuellement. La norme D50-001 ne précise pas les horaires de fonctionnement de la ventilation. Ils ont été fixés suite à une discussion avec Catherine Massart pour fonctionner lorsque l'habitation est occupée.

La modélisation dans Tas s'est effectuée avec « Inter Zone Air Movement » qui va contrôler les flux d'air entre les zones pour chaque pièce selon un horaire défini.

Système D : pulsion et extraction mécanique

La ventilation avec pulsion et extraction mécanique a été modélisée pour le niveau très basse énergie (TBE) et le standard passif (SP). Tout comme le système C, cette ventilation

a été calculée selon la norme D50-001. Les systèmes de ventilation mécanique doivent posséder trois positions pour régler la vitesse du débit. Deux débits ont été systématiquement analysés : le débit correspondant aux exigences de la norme dont la vitesse est la plus grande (la vitesse 3) et le débit correspondant à la position 1 qui est la vitesse la plus faible (la vitesse 1). Il ressort des discussions avec des personnes de terrain que la vitesse 3 est peu utilisée dans la pratique mais que la vitesse de référence est la vitesse 1 et parfois, les autres vitesses sont enclenchées ponctuellement. La norme D50-001 ne précise pas les horaires de fonctionnement de la ventilation. Ils ont été fixés suite à une discussion avec Catherine Massart pour fonctionner lorsque l'habitation est occupée.

La modélisation dans Tas s'est effectuée avec « Inter Zone Air Movement » qui va contrôler les flux d'air entre les zones pour chaque pièce selon un horaire défini. La différence de modélisation avec le système C est qu'avec le système D, il y a un récupérateur de chaleur (d'un rendement de 85%) qui va permettre de diminuer de manière importante les consommations. Seulement Tas ne permet pas de simuler un récupérateur de chaleur avec l'option « Inter Zone Air Movement ». Il propose une approche moins précise qui ne permet pas de contrôler les flux d'air entre les différentes zones ou une autre approche post-processing au moyen de macros Excel. Pour cela, comme il était plus juste et plus intéressant de conserver un contrôle précis des flux d'air grâce à l'« Inter Zone Air Movement », les débits d'air entrant ont été réduits à 15% de leur débit réellement pulsé, de manière à obtenir les consommations d'un système mécanique avec un récupérateur de chaleur. Cela signifie que le débit de la vitesse 3, correspondant à la norme, avec un récupérateur de chaleur, n'est pulsé qu'à raison de 15% puisque 85% de la chaleur a été récupérée. Donc, en théorie les débits sont les mêmes pour un système C et un système D mais pour la modélisation du récupérateur de chaleur, les débits du système D vaudront 15% des débits calculé (suite à une discussion avec E. Gratia). Pour voir l'impact du by-pass permettant entre autre de réguler les températures lorsqu'une température plafond est atteinte, il faut analyser séparément l'hiver de l'été car quand la consigne est atteinte, le chauffage s'arrête ce qui correspond aux données provenant de simulations faites avec les débits complets et théoriques sans récupérateur de chaleur (système C).

Les modélisations des ventilations des habitations étudiées

Les hypothèses de simulation ont été prises pour correspondre le mieux possible à la réalité. Elles considèrent un réglage qui amène des débits réels inférieurs aux débits nominaux. Le débit maximum est égal au débit nécessaire pour assurer les débits nominaux prévus par la norme dans tous les locaux. Ces réglages correspondent à ce qui se fait dans la pratique pour la plupart des installations de systèmes de ventilation avec récupération de chaleur. [NBN D50-001, 2008 ; CSTC 1994, CSTC 1997 et C. Baltus, 2004]. Les tableaux qui suivent reprennent les débits de ventilation de toutes les pièces concernées pour tous les cas étudiés.

Remarque concernant le cas Nappe Fenouil 3 : Il y a trois profils de ventilation pour ce cas. C'est directement lié à l'étude des modes d'occupation et donc aux différents GI. La ventilation 1 considère une occupation totale de la maison (GI de bases et GI2) ; la ventilation 2 considère une occupation partielle de la maison où l'étage n'est pas entièrement occupé (GI3 et GI4bis) ; la ventilation 3 considère une occupation quasi totale de la maison (GI3bis et GI4).

Nappe Fenouil 3 = Cas Ruban
Ventilation 1 : Ventilation de base

Nappe Fenouil 3 = Cas Ruban	Living	Cuisine	Bureau	Hall	wc	Ch. 1	Ch. 2	Ch. 3	Ch. 4	SdB	Loc tech : escalier étage
Surface au sol	47.07	20.27	11.44	10.24	2.02	17.88	16.17	15.86	13.03	13.69	15.14
Volume	117.67	50.67	28.59	27.76	5.06	32.86	28.48	27.87	22.53	25.57	31.08
Débit de ventilation nominale (m³/h/m²)	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
Débit de ventilation calculé (m³/h)	169.441	72.961	41.173	36.860	7.283	64.379	58.194	57.110	46.901	49.295	54.504
Choix des débits en fonction de la réglementation (min ou max)	max 150 m³/h	Max 75 m³/h	Max 36 m³/h par pers	(3.6 m³/hm²)	25 m³/h	Max 36 m³/h par pers (72)	Max 36 m³/h par pers	Max 36 m³/h par pers	Max 36 m³/h par pers	Max 75 m³/h	(3.6 m³/hm²)
Débit v3 (m³/h)	150	-75	36	-86	-25	64	36	36	36	-75	-97
Renouvellement de l'air (1/h) selon la réglementation (vitesse3)	1.27	-1.48	1.26	-3.10	-4.94	1.95	1.26	1.29	1.60	-2.93	-3.12
Débit v2 (m³/h) = 2/5*V3	60	-30	14.4	-34.4	-10	25.6	14.4	14.4	14.4	-30	-38.8
Renouvellement de l'air (1/h) 2/5 de V3	0.51	-0.59	0.50	-1.24	-1.98	0.78	0.51	0.52	0.64	-1.17	-1.25
Débit (m³/h) = 1/3*V3	50	-25	12	-28.67	-8.33	21.33	12	12	12	-25	-32.33
Renouvellement de l'air (1/h) 1/3 de V3	0.42	-0.49	0.42	-1.03	-1.65	0.65	0.42	0.43	0.53	-0.98	-1.04

Ventilation 2 : ventilation pour le RDC + l'étage (3 chambres non occupées)

Nappe Fenouil 3	Ch. 1	Ch. 2	Ch. 3	Ch. 4	SdB	Loc tech : escalier étage
Débit de ventilation calculé (m³/h)	64.38	58.19	57.11	46.90	49.29	54.50
Choix des débits en fonction de la réglementation (min ou max)	Max 36 m³/h par pers (72)	Max 36 m³/h par pers	Max 36 m³/h par pers	Max 36 m³/h par pers	Max 75 m³/h	(3.6 m³/hm²)
Débit v3 (m³/h)	64	0	0	0	-64	0
Renouvellement de l'air (1/h) selon la réglementation (vitesse3)	1.95	0	0	0	-2.50	0
Débit v2 (m³/h) = 2/5*V3	25.60	0	0	0	-25.60	0
Renouvellement de l'air (1/h) 2/5 de V3	0.78	0	0	0	-1.00	0
Débit (m³/h) = 1/3*V3	21.33	0	0	0	-21.33	0
Renouvellement de l'air (1/h) 1/3 de V3	0.65	0	0	0	-0.83	0

Ventilation 3 : ventilation pour le RDC (étage non occupé) et le bureau devient une chambre pour 2 personnes

Nappe Fenouil 3	Living	Cuisine	Bureau (= Ch)	Hall	wc
Débit de ventilation calculé (m³/h)	169.44	72.96	41.17	36.86	7.28
Choix des débits en fonction de la réglementation (min ou max)	max 150 m³/h	Max 75 m³/h	Max 36 m³/h par pers (72)	(3.6 m³/hm²)	25 m³/h
Débit v3 (m³/h)	150	-75	41	-91	-25
Renouvellement de l'air (1/h) selon la réglementation (vitesse3)	1.27	-1.48	1.43	-3.28	-4.94
Débit v2 (m³/h) = 2/5*V3	60	-30	16.4	-36.4	-10
Renouvellement de l'air (1/h) 2/5 de V3	0.51	-0.59	0.57	-1.31	-1.98
Débit (m³/h) = 1/3*V3	50	-25	13.67	-30.33	-8.33
Renouvellement de l'air (1/h) 1/3 de V3	0.42	-0.49	0.48	-1.09	-1.65

Nappe Fenouil 7

Nappe Fenouil 7	Living	Cuisine	Bureau	Hall	wc	Ch. 1	Ch. 2	SdB	Hall de nuit
Surface au sol	25.86	9.27	6.20	3.91	2.17	15.12	19.23	6.95	7.58
Volume	64.65	23.18	15.51	10.01	5.42	30.74	32.25	11.95	14.49
Débit de ventilation nominale (m³/h/m²)	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
Débit de ventilation calculé (m³/h)	93.100	33.376	22.331	14.062	7.808	54.446	69.232	25.009	27.270
Choix des débits en fonction de la réglementation (min ou max)	max 150 m³/h	Max 75 m³/h	Max 36 m³/h par pers	(3.6 m³/hm²)	25 m³/h	Max 36 m³/h par pers (72)	Max 36 m³/h par pers	Max 75 m³/h	(3.6 m³/hm²)
Débit v3 (m³/h)	93	-75	23	-16	-25	55	36	-75	-16
Renouvellement de l'air (1/h) selon la réglementation (vitesse3)	1.44	-3.24	1.48	-1.60	-4.61	1.79	1.12	-6.28	-1.10
Débit v2 (m³/h) = 2/5*V3	37.2	-30	9.2	-6.4	-10	22	14.4	-30	-6.4
Renouvellement de l'air (1/h) 2/5 de V3	0.58	-1.29	0.59	-0.64	-1.84	0.72	0.45	-2.51	-0.44
Débit (m³/h) = 1/3*V3	31	-25	7.67	-5.33	-8.33	18.33	12.00	-25.00	-5.33
Renouvellement de l'air (1/h) 1/3 de V3	0.48	-1.08	0.49	-0.53	-1.54	0.60	0.37	-2.09	-0.37

Mitoyen Foyer Fontainois

Mitoyen Foyer Fontainois	Living	Cuisine	wc	Ch. 1	Ch. 2	Ch. 3	SdB	Loc tech : escalier étage
Surface au sol	21.72	7.73	0.95	7.80	12.78	7.49	6.32	2.70
Volume	55.39	19.71	2.43	20.27	33.23	19.48	16.43	7.01
Débit de ventilation nominale (m³/h/m²)	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
Débit de ventilation calculé (m³/h)	78.19	27.82	3.43	28.07	46.01	26.97	22.75	9.71
Choix des débits en fonction de la réglementation (min ou max)	max 150 m³/h	Max 75 m³/h	25 m³/h	Max 36 m³/h par pers (72)	Max 36 m³/h par pers (72)	Max 36 m³/h par pers	Max 75 m³/h	(3.6 m³/hm²)
Débit v3 (m³/h)	78	-68	-10	28	46	27	-75	-26
Renouvellement de l'air (1/h) selon la réglementation (vitesse3)	1.41	-3.45	-4.11	1.38	1.38	1.39	-4.57	-3.71
Débit v2 (m³/h) = 2/5*V3	31.2	-27.2	-4	11.2	18.4	10.8	-30	-10.4
Renouvellement de l'air (1/h) 2/5 de V3	0.56	-1.38	-1.65	0.55	0.55	0.55	-1.83	-1.48
Débit (m³/h) = 1/3*V3	26	-22.67	-3.33	9.33	15.33	9	-25	-8.67
Renouvellement de l'air (1/h) 1/3 de V3	0.47	-1.15	-1.37	0.46	0.46	0.46	-1.52	-1.24

Mitoyen Cité Chavée

Mitoyen Cité chavée	Living	Cuisine	Ch. 1	SdB
Surface au sol	13.06	8.46	9.86	6.10
Volume	32.64	21.14	27.62	13.60
Débit de ventilation nominale (m³/h/m²)	3.6	3.6	3.6	3.6
Débit de ventilation calculé (m³/h)	47.01	30.44	35.51	21.96
Choix des débits en fonction de la réglementation (min ou max)	max 150 m³/h	Max 75 m³/h	Max 36 m³/h par pers (72)	Max 75 m³/h
Débit v3 (m³/h)	75	-75	50	-50
Renouvellement de l'air (1/h) selon la réglementation (vitesse3)	2.30	-3.55	1.81	-3.68
Débit v2 (m³/h) = 2/5*V3	30	-30	20	-20
Renouvellement de l'air (1/h) 2/5 de V3	0.92	-1.42	0.72	-1.47
Débit (m³/h) = 1/3*V3	25	-25	16.67	-16.67
Renouvellement de l'air (1/h) 1/3 de V3	0.77	-1.18	0.60	-1.23

Mixte Chaumont-Gistoux

Mixte Chaumont-Gistoux	Living	Cuisine	Hall	Ch. 1	Ch. 2	Ch. 3	SdB	Loc tech : escalier étage
Surface au sol	38.97	7.10	11.01	16.62	18.58	9.02	7.17	6.70
Volume	116.91	21.31	33.19	44.86	50.18	24.36	19.37	18.09
Débit de ventilation nominale (m³/h/m²)	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
Débit de ventilation calculé (m³/h)	140.30	25.57	39.63	59.81	66.90	32.48	25.82	24.11
Choix des débits en fonction de la réglementation (min ou max)	max 150 m³/h	Max 75 m³/h	(3.6 m³/hm²)	Max 36 m³/h par pers (72)	Max 36 m³/h par pers (72)	Max 36 m³/h par pers	Max 75 m³/h	(3.6 m³/hm²)
Débit v3 (m³/h)	140	-75	-65	36	67	32	-75	-60
Renouvellement de l'air (1/h) selon la réglementation (vitesse3)	1.20	-3.52	-1.96	0.80	1.34	1.31	-3.87	-3.32
Débit v2 (m³/h) = 2/5*V3	56	-30	-26	14.4	26.8	12.8	-30	-24
Renouvellement de l'air (1/h) 2/5 de V3	0.48	-1.41	-0.78	0.32	0.53	0.53	-1.55	-1.33
Débit (m³/h) = 1/3*V3	46.67	-25.00	-21.67	12.00	22.33	10.67	-25.00	-20.00
Renouvellement de l'air (1/h) 1/3 de V3	0.40	-1.17	-0.65	0.27	0.45	0.44	-1.29	-1.11

Mixte Bousval

Mixte Bousval	Living	Cuisine	Bureau	Hall	Salle à manger	Ch. 1	Ch. 2	Ch. 3	SdB	ETAGE HALL
Surface au sol	38.32	20.90	26.61	2.53	29.37	15.01	19.75	14.11	11.35	27.57
Volume	126.45	68.96	87.81	8.34	96.93	40.52	53.32	38.09	30.65	74.43
Débit de ventilation nominale (m³/h/m²)	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
Débit de ventilation calculé (m³/h)	137.95	75.23	95.79	9.10	105.74	54.03	71.09	50.78	40.86	99.24
Choix des débits en fonction de la réglementation (min ou max)	max 150 m³/h	Max 75 m³/h	Max 36 m³/h par pers	(3.6 m³/hm²)	expulsion du Living	Max 36 m³/h par pers (72)	Max 36 m³/h par pers	Max 36 m³/h par pers	Max 75 m³/h	(3.6 m³/hm²)
Débit v3 (m³/h)	138	-75	36	-50	36	54	36	36	-75	-51
Renouvellement de l'air (1/h) selon la réglementation (vitesse3)	1.09	-1.09	0.41	-6.00	0.28	1.33	0.68	0.95	-2.45	-0.69
Débit v2 (m³/h) = 2/5*V3	55.2	-30	14.4	-20	14.4	21.6	14.4	14.4	-30	-20.4
Renouvellement de l'air (1/h) 2/5 de V3	0.44	-0.44	0.16	-2.40	0.11	0.53	0.27	0.38	-0.98	-0.27
Débit (m³/h) = 1/3*V3	46	-25	12	-16.67	12	18	12	12	-25	-17
Renouvellement de l'air (1/h) 1/3 de V3	0.36	-0.36	0.14	-2.00	0.12	0.44	0.23	0.32	-0.82	-0.23

5.1.4.3. Les consignes thermostatiques

Les consignes thermostatiques sont également un terrain pour les variations paramétrées. Plusieurs profils sont modélisés dont les deux principaux sont :

- Thermostat de 20°C constant : cela correspond aux exigences de la modélisation dans le PHPP. Ce thermostat permettra de valider les modélisations Tas et d'évaluer la conception du PHPP.
- Thermostat de 20-16°C : correspond à un cas plus réel de programmation du système de chauffage à savoir : 20°C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 16 °C la nuit et en journée durant les moments supposés d'inoccupation (la saison de chauffe dure du 1er octobre au 1er mai). (Ce cas est parfois appelé T1)

Pour l'étude des différents modes d'occupation d'une habitation, d'autres consignes ont été créées :

- T2 : c'est une variante du Thermostat de 20-16°C (T1) : 20 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 16 °C durant la nuit (la saison de chauffe : du 1er octobre au 1er mai)
- T3 : variante du Thermostat de 20°C : 21°C constant dans les pièces occupées (pas de saisons de chauffe)
- T4 : 24 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 20 °C durant la nuit (la saison de chauffe : du 1er octobre au 1er mai)

5.2. L'analyse des quartiers : résultats

Sur base de l'ensemble des paramètres détaillés au chapitre précédent, beaucoup de modélisations Tas ont pu être développées donnant lieu chacune à toute une série de simulations. L'ensemble des résultats de ces simulations vont être détaillés dans ce chapitre en fonction des bâtiments sur lesquels les simulations ont été développées.

5.2.1. Quartier Nappe - Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3

Les résultats de demandes de chaleur (en kWh/m².an) issus des simulations pour le cas « Fenouil 3 » sont visibles dans le tableau ci-dessous. Il reprend les résultats des simulations TAS avec :

- le climat de Uccle – un thermostat 20-16°C
- le climat de Uccle – un thermostat 20°C constant
- le climat de Saint-Hubert – un thermostat 20-16°C
- le climat de Saint-Hubert – un thermostat 20°C constant
- le climat de Uccle – un thermostat 20-16°C pour l'analyse du cas de base sans cave.

La deuxième partie du tableau permet de constater que les résultats obtenus dans les conditions du dimensionnement du PHPP correspondent à des demandes de chaleur respectant les 3 standards exploités (à savoir : le standard basse énergie (<60kWh/m².an), le standard très basse énergie (<30kWh/m².an) et le standard passif (<15kWh/m².an). Le chapitre « Choix des paramètres » reprend les détails concernant les paramètres des simulations.

Tableau 40 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Nappe – Fenouil 3 : cas de base.

Climat : Uccle								
Simulation : Cas de base		NI	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre fermée	154.67	71.02	52.08	34.14			
	Fenêtre ouverte 1h par jour	180.13	96.46	77.50	59.53	44.50	35.83	30.87
	Fenêtre ouverte 1h par jour bâtiment à l'abri du vent	171.94	88.26	69.31	51.33	36.31	27.66	22.69
	CP 0*	171.36	87.68	68.72	50.75	35.73	27.08	22.12
	CP 8*	182.94	99.26	80.31	62.34	47.30	38.64	33.67
	CP 4 SO*	180.46	96.78	77.82	59.85	44.82	36.15	31.19
	Système C - Vitesse 1				43.49	28.46	24.93	14.86
	Système C - Vitesse 3				62.64	47.61	44.19	34.19
	Système D 15% - Vitesse 1						17.03	7.25
	Système D 15% - Vitesse 3						19.78	9.79
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	240.38	121.52	94.79	69.04	49.40	38.81	32.96
	Système C - Vitesse 1				53.28	33.17	0.00	0.00
	Système C - Vitesse 3				78.62	57.48	0.00	40.22
	Système D 15% - Vitesse 1						19.47	8.23
	Système D 15% - Vitesse 3						22.56	11.03
Climat : St-Hubert								
Simulation		NI	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	242.96	131.92	106.75	82.63	63.43	52.05	45.26
	Fenêtre ouverte 1h par jour bâtiment à l'abri du vent	232.61	121.58	96.40	72.28	53.08	41.69	34.90
	CP 0*	232.02	120.99	95.81	71.69	52.49	41.10	34.31
	CP 8*	244.40	133.36	108.19	84.07	64.87	53.49	46.70
	CP 4 SO*	241.14	130.11	104.93	80.81	61.61	50.23	43.44
	Système C - Vitesse 1				59.73	40.56	35.83	22.50
	Système C - Vitesse 3				83.61	64.53	59.95	46.78
	Système D 15% - Vitesse 1						25.70	12.45
	Système D 15% - Vitesse 3						29.25	15.92
Thermostat : 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	315.33	155.90	119.29	97.66	71.41	57.06	49.11
	Système C - Vitesse 1				74.66	47.96		
	Système C - Vitesse 3				107.78	80.13		56.82
	Système D 15% - Vitesse 1						29.12	13.93
	Système D 15% - Vitesse 3						33.32	17.70

* CP = coefficients de pression. Voir point plus bas « Les coefficients de pression »

Variation paramétrée : impact d'une cave

Le tableau ci-dessous reprend les résultats des simulations du cas de base sans cave :

Tableau 41 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Nappe – Fenouil 3 : cas de base sans cave.

Climat : Uccle								
Simulation : cas de base sans cave		NI	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	188.03	99.83	79.51	60.47			
	Système C - Vitesse 1				44.44	29.29	20.16	14.85
	Système C - Vitesse 3				63.58	48.45	39.29	34.20
	Système D 15% - Vitesse 1						12.49	7.21
	Système D 15% - Vitesse 3						15.11	9.77
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	258.68	127.23	97.45	70.67			
	Système C - Vitesse 1				54.96	34.41		
	Système C - Vitesse 3				80.44	59.03		
	Système D 15% - Vitesse 1						14.43	8.18
	Système D 15% - Vitesse 3						17.34	10.99

L'évolution de la diminution de la demande de chauffage est considérable entre les différents niveaux d'isolation et les différents systèmes de ventilation. La Figure 31 permet de bien visualiser l'évolution importante entre chaque niveau d'isolation.

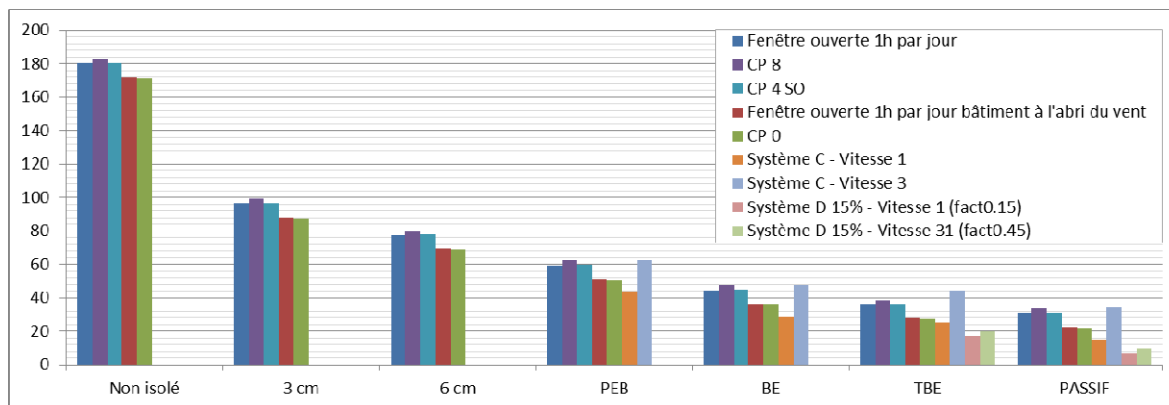


Figure 31 : Demande de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Nappe - Fenouil 3 en fonction des 7 différents niveaux d'isolation (Climat Uccle – Th 20-16°C).

Ces réductions des consommations sont essentielles à envisager lors du choix de la rénovation. Les tableaux ci-dessous en donnent un aperçu en reprenant les réductions d'énergie de chauffage faites lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre. Ce tableau les représente pour des consignes de thermostat de 20-16°C dans trois cas :

- lorsque tous les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (même le BE, le TBE et le SP) : partie A du tableau,
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 1 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 1 (pour

- le TBE et le SP) : partie B du tableau, et
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 3 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 3 (pour le TBE et le SP) : partie C du tableau.

Tableau 42 : Réductions d'énergie de chauffage (en %) réalisées lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre pour le cas Quartier Nappe - Fenouil 3 (Climat Uccle – Th 20-16°C).

A.) Gain de ... à ... (système A pour tous)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	46.45%	56.98%	66.95%	75.30%	80.11%	82.86%
De 3cm à ...		19.65%	38.29%	53.87%	62.85%	68.00%
De 6cm à ...			23.19%	42.58%	53.76%	60.17%
De PEB à ...				25.25%	39.80%	48.15%
De BE à ...					19.47%	30.63%
De TBE à ...						13.86%
B.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 1)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	75.85%	84.20%	90.54%	95.98%
De 3cm à ...		Id.	54.91%	70.50%	82.34%	92.49%
De 6cm à ...			43.88%	63.28%	78.02%	90.65%
De PEB à ...				34.57%	60.84%	83.34%
De BE à ...					40.15%	74.53%
De TBE à ...						57.45%
C.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 3)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	65.23%	73.57%	89.02%	94.56%
De 3cm à ...		Id.	35.06%	50.64%	79.50%	89.85%
De 6cm à ...			19.17%	38.57%	74.48%	87.36%
De PEB à ...				23.99%	68.43%	84.36%
De BE à ...					58.46%	79.43%
De TBE à ...						50.48%

Ces réductions peuvent être très importantes. Il peut être plus facile ou plus « frappant » de s'en apercevoir en les visualisant. La Figure 32 traduit les valeurs de la partie C du tableau ci-dessus. Il permet de mettre en situation son propre cas où lorsque quelqu'un veut envisager la rénovation de son habitation et qu'il sait que celle-ci a plus ou moins 3 cm d'isolation dans ses parois, il pourra suivre la courbe rouge afin d'envisager les différentes possibilités de gain ou réduction qu'une rénovation entraînerait... Cela semble un atout intéressant pour l'outil final !

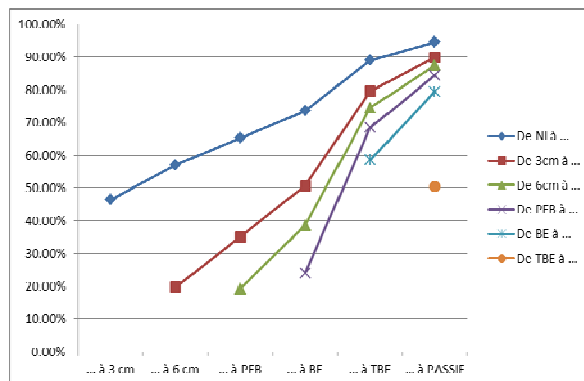


Figure 32 : Réductions de la demande de chaleur (en %) réalisées lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre suivant les résultats de la partie C du Tableau 42 pour le cas Quartier Nappe - Fenouil 3.

La même analyse des réductions des demandes de chaleur peut être faite pour un climat de Saint-Hubert comme le montre le Tableau 43.

Tableau 43 : Réductions d'énergie de chauffage (en %) réalisées lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre pour le cas Quartier Nappe - Fenouil 3 (Climat Saint-Hubert – Th 20-16°C)

A.) Gain de ... à ... (système A pour tous)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	45.70%	56.06%	65.99%	73.89%	78.58%	81.37%
De 3cm à ...		19.08%	37.37%	51.92%	60.55%	65.70%
De 6cm à ...			22.59%	40.58%	51.24%	57.61%
De PEB à ...				23.24%	37.01%	45.23%
De BE à ...					17.94%	28.65%
De TBE à ...						13.05%
B.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 1)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	75.41%	83.30%	89.42%	94.87%
De 3cm à ...		Id.	54.72%	69.25%	80.52%	90.56%
De 6cm à ...			44.04%	62.00%	75.92%	88.33%
De PEB à ...				32.09%	56.97%	79.15%
De BE à ...					36.63%	69.30%
De TBE à ...						51.55%
C.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 3)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	65.59%	73.44%	87.96%	93.45%
De 3cm à ...		Id.	36.63%	51.08%	77.83%	87.93%
De 6cm à ...			21.68%	39.55%	72.60%	85.08%
De PEB à ...				22.82%	65.01%	80.95%
De BE à ...					60.17%	75.32%
De TBE à ...						45.56%

Ou encore, au Tableau 44 pour le cas de base mais sans la cave...

Tableau 44 : Réductions d'énergie de chauffage (en %) réalisées pour le cas de base sans caves lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre pour le cas Quartier Nappe - Fenouil 3 (Climat Uccle – Th 20-16°C)

A.) Gain de ... à ... (système A pour tous)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	46.90%	57.71%	67.84%			
De 3cm à ...		20.36%	39.43%			
De 6cm à ...			23.94%	:		
B.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 1)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	76.37%	84.42%	93.36%	96.16%
De 3cm à ...		Id.	55.49%	70.66%	87.49%	92.77%
De 6cm à ...			44.11%	63.17%	84.29%	90.93%
De PEB à ...				34.09%	71.90%	83.77%
De BE à ...					57.36%	75.37%
De TBE à ...						42.24%
C.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 3)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	66.18%	74.23%	91.97%	94.80%
De 3cm à ...		Id.	36.31%	51.46%	84.87%	90.21%
De 6cm à ...			20.03%	39.06%	81.00%	87.71%
De PEB à ...				23.79%	76.24%	84.63%
De BE à ...					74.23%	79.83%
De TBE à ...						35.30%

Variation paramétrée : les modes d'occupation

Les simulations ont été faites avec le climat d'Uccle [ASHRAE 2009]. Cette étude est réalisée uniquement sur cette maison (Nappe - Fenouil 3) et se développe pour les 7 niveaux d'isolation. Notons que les cas non isolé, avec 3cm d'isolation, avec 6 cm et le standard actuel belge sont modélisés avec un système de ventilation A. Le niveau basse énergie est équipé d'un système C et le très basse énergie et le passif ont un système D avec récupérateur de chaleur. La vitesse de la ventilation considéré dans les résultats est la vitesse 1 (=1/3 de celle correspondant à la norme).

L'étude compare l'influence de trois paramètres liés au comportement humain et au mode d'occupation, sur les consommations de chauffages du bâtiment.

Les trois paramètres étudiés sont décrits ci-dessous.

Le premier paramètre représente la taille de la famille et le mode d'occupation lui correspondant. Deux types de composition de famille sont considérés afin de caractériser les 4 modes d'occupation suivant :

- Le mode d'occupation 1 représente un couple actif travaillant à l'extérieur durant la journée pendant que leurs trois enfants vont à l'école.
- Le mode d'occupation 2 représente un couple d'indépendants ou de sans-emplois travaillant ou se trouvant à la maison durant la journée pendant que leurs trois enfants vont à l'école.
- Le mode d'occupation 3 représente un couple actif sans enfants travaillant ou se trouvant à l'extérieur durant la journée. 5 cas seront discutés.
- Le mode d'occupation 4 représente un couple de personnes retraitées et pas très actives restant beaucoup de leur temps chez eux. 4 cas seront discutés.

Le second paramètre est la gestion du système de chauffage.

La modélisation du chauffage est basée sur trois hypothèses de gestion de la consigne de chauffage qui dépendent du mode d'occupation. Les trois thermostats sont :

- T1 : 20 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 16 °C la nuit et en journée (la saison de chauffe : du 1^{er} octobre au 1^{er} mai)
- T2 : 20 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 16 °C durant la nuit (la saison de chauffe : du 1^{er} octobre au 1^{er} mai)
- T3 : 21°C constant dans les pièces occupées tout au long de l'année
- T4 : 24 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 20 °C durant la nuit (la saison de chauffe : du 1^{er} octobre au 1^{er} mai)

Le dernier paramètre est la gestion de la surface de planchers chauffés. La taille des familles et ses activités évoluent au cours du temps alors que la maison a bien souvent une taille fixe et inchangée mais parfois, les personnes se retranchent dans une partie de l'habitation qui devient trop grande pour eux (par exemple : après le départ des enfants, face à la difficulté de monter un escalier,...). Dans les simulations, la maison est soit habitée complètement (c'est-à-dire au rez-de-chaussée et à l'étage) soit seulement partiellement (uniquement le rez-de-chaussée).

Les différents cas étudiés proviennent de la combinaison de ces 3 paramètres de bases. Les onze cas étudiés sont repris et résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 45 : Les 11 cas d'études.

	Mode de vie	RDC + Etagé	RDC	Th1	Th2	Th3	Th4	GI*
Cas 1.1	1	x		x				1
Cas 2.2	2	x			x			2
Cas 3.3	3	x		x				3
Cas 3.4	3	x			x			3
Cas 3.5	3		x		x			3bis
Cas 3.6	3	x				x		3
Cas 3.7	3		x			x		3bis
Cas 4.8	4	x				x		4bis
Cas 4.9	4		x			x		4
Cas 4.10	4	x					x	4
Cas 4.11	4		x				x	4bis

* Cette colonne reprend les numéros de profils des gains internes correspondant à chaque cas. Ils sont consultables plus haut dans le texte au point « Conditions internes »

Le Tableau 46 (A et B) reprend les résultats de consommations de chauffage des 11 cas simulés pour les 7 niveaux d'isolation. Dans la première partie du tableau (la partie A), la demande totale de chauffage de la maison est divisée par la surface totale de celle-ci (182m²). Dans la seconde partie du tableau (la partie B), la demande totale de chauffage de la maison est divisée par la surface occupée et chauffée (182m² si la maison est totalement occupée par la famille (cas 1.1 et 1.2), 138m² si le rez-de-chaussée et l'étage sont partiellement occupé par un couple (cas 3.3, 3.4, 3.6 et 4.8) et 91m² si seulement le rez-de-chaussée est occupé par un couple (cas 3.5, 3.7 et 4.9)).

Notons que si la surface chauffée change d'un cas à l'autre, la position de l'isolation, elle reste la même dans chaque cas.

Tableau 46 : Résultats des demandes de chaleur des 11 cas étudiés (en kWh/m²). La partie A présente la demande totale de chauffage de la maison divisée par la surface totale de celle-ci (182m²). La partie B présente la demande totale de chauffage de la maison divisée par la surface occupée et chauffée (182m², 138m² ou 91m² selon le mode d'occupation).

	Cas 1.1	Cas 2.2	Cas 3.3	Cas 3.4	Cas 3.5	Cas 3.6	Cas 3.7	Cas 4.8	Cas 4.9	Cas 4.10	Cas 4.11
A.) kWh/m² (La demande de chauffage est divisée par la surface totale de la maison (182m²)).											
NI	180.13	195.11	154.78	170.70	132.19	231.00	178.71	214.71	175.43	177.48	215.15
3 cm	96.46	101.30	92.94	101.35	88.25	132.15	115.16	122.76	111.96	118.49	129.09
6 cm	77,50	79,97	76,94	83,35	74,59	106,52	95,47	99,07	92,36	100,29	106,98
PEB	59.53	59.08	60.50	64.92	59.69	80.75	74.54	74.88	71.62	80.96	84.42
BE	28.46	31.03	30.18	36.19	31.99	44.82	39.74	40.69	36.99	43.61	47.58
TBE	17.03	10,27	16,47	18,48	17,48	22,22	21,15	19,51	18,91	24,83	25,75
SP	7.25	5.16	11.88	13.28	12.76	15.93	15.39	13.54	13.15	17.86	18.53
B.) kWh/m² (La demande de chauffage est divisée par l'espace occupé (182, 138 or 91m²))											
m²	182	182	138	138	91	138	91	138	91	138	91
NI	180.13	195.11	205.40	226.53	265.46	306.55	358.88	310.73	352.28	356.41	311.37
3 cm	96.46	101.30	123.34	134.50	177.22	175.37	231.25	177.67	224.83	237.94	186.82
6 cm	77,50	79,97	102,11	110,60	149,78	141,35	191,72	143,38	185,48	201,39	154,83
PEB	59.53	59.08	80.29	86.15	119.87	107.16	149.68	108.37	143.82	162.58	122.18
BE	28.46	31.03	40.05	48.02	64.24	59.48	79.79	58.89	74.29	87.58	68.85
TBE	17.03	10,27	21,85	24,53	35,10	29,49	42,48	28,24	37,98	49,86	37,27
SP	7.25	5.16	15.76	17.62	25.61	21.14	30.91	19.59	26.41	35.87	26.81

Des résultats complémentaires pour chaque cas sont disponibles dans l'annexe 2. Notons que les valeurs grisées représentent des standards non atteints.

5.2.2. Quartier Nappe - Maison unifamiliale « 4 façades » Fenouil 7

Les résultats de demandes de chaleur (en kWh/m².an) issus des simulations pour le cas « Fenouil 7 » sont visibles dans le tableau ci-dessous. Il reprend les résultats TAS avec :

- le climat de Uccle – un thermostat 20-16°C
- le climat de Uccle – un thermostat 20°C constant

La seconde partie du tableau permet de constater que les résultats obtenus dans les conditions du dimensionnement du PHPP correspondent à des demandes de chaleur respectant les 3 standards exploités (à savoir : le standard basse énergie (<60kWh/m².an), le standard très basse énergie (<30kWh/m².an) et le standard passif (<15kWh/m².an). Le chapitre « Choix des paramètres » reprend les détails concernant les paramètres des simulations.

Tableau 47 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Nappe – Fenouil 7 : cas de base.

Climat : Uccle								
Simulation : Maison unifamiliale « 4 façades » Fenouil 7		NI	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20 - 16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	212.00	91.34	66.17	45.87			
	Système C - Vitesse 1				44.65	25.45	16.59	10.40
	Système C - Vitesse 3				63.31	44.10	35.17	29.06
	Système D 15% - Vitesse 1						9.32	3.76
	Système D 15% - Vitesse 3						11.77	5.83
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	295.29	118.57	82.33	54.01			
	Système C - Vitesse 1				54.58	29.08		
	Système C - Vitesse 3				79.39	52.41		
	Système D 15% - Vitesse 1						10.51	4.21
	Système D 15% - Vitesse 3						13.20	6.46

L'évolution de la diminution de la demande de chauffage est considérable entre les différents niveaux d'isolation et les différents systèmes de ventilation. La Figure 33 permet de bien visualiser l'évolution importante entre chaque niveau d'isolation.

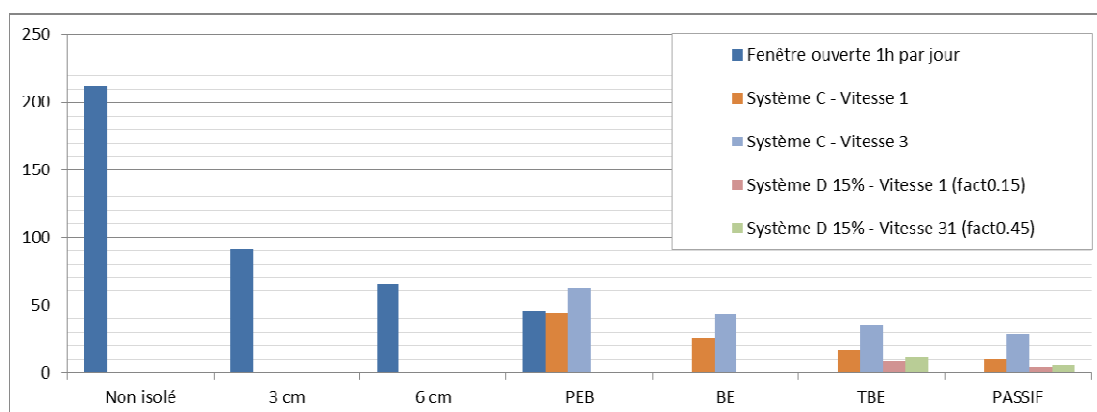


Figure 33 : Demande de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Nappe - Fenouil 7 en fonction des 7 différents niveaux d'isolation (Climat Uccle – Th 20-16°C).

Ces réductions des consommations sont essentielles à envisager lors du choix de la rénovation. Le tableau ci-dessous donne un aperçu en reprenant les réductions d'énergie de chauffage faites lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre. Ce Tableau 48 exploite les résultats pour des consignes de thermostat de 20 -16°C dans trois cas :

- lorsque tous les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (même le BE, le TBE et le SP) : partie A du tableau,
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 1 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 1 (pour le TBE et le SP) : partie B du tableau, et
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 3 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 3 (pour le TBE et le SP) : partie C du tableau.

Tableau 48 : Réductions d'énergie de chauffage (en %) réalisées lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre pour le cas Quartier Nappe - Fenouil 7 (Climat Uccle – Th 20-16°C).

A.) Gain de ... à ... (système A pour tous)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	56.92%	68.79%	78.36%			
De 3cm à ...		27.55%	49.78%			
De 6cm à ...			30.67%			
B.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 1)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	78.94%	87.99%	95.61%	98.23%
De 3cm à ...		Id.	51.12%	72.13%	89.80%	95.88%
De 6cm à ...			32.53%	61.53%	85.92%	94.32%
De PEB à ...				42.99%	79.13%	91.58%
De BE à ...					63.40%	85.22%
De TBE à ...						59.62%
C.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 3)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	70.14%	79.20%	94.45%	97.25%
De 3cm à ...		Id.	30.68%	51.71%	87.12%	93.62%
De 6cm à ...			4.32%	33.35%	82.22%	91.19%
De PEB à ...				30.34%	81.42%	90.80%
De BE à ...					78.88%	86.79%
De TBE à ...						50.47%

5.2.3. Quartier Ruban - Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3

Les résultats de demandes de chaleur (en kWh/m².an) issus des simulations pour le cas « Fenouil 7 » sont visibles dans le tableau ci-dessous. Il reprend les résultats des simulations TAS avec :

- le climat de Uccle – un thermostat 20-16°C
- le climat de Uccle – un thermostat 20°C constant

La seconde partie du tableau permet de constater que les résultats obtenus dans les conditions du dimensionnement du PHPP correspondent à des demandes de chaleur respectant les 3 standards exploités (à savoir : le standard basse énergie (<60kWh/m².an), le standard très basse énergie (<30kWh/m².an) et le standard passif (<15kWh/m².an). Le chapitre « Choix des paramètres » reprend les détails concernant les paramètres des simulations.

Tableau 49 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Ruban – Fenouil 3 : cas de base.

Climat : Uccle								
Simulation : Quartier Ruban		NI	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	193.28	108.91	89.76	70.99	55.03	46.47	40.89
	Fenêtre ouverte 1h par jour bâtiment à l'abri du vent	175.96	91.59	72.44	53.67	37.71	29.16	23.58
	Système C - Vitesse 1				45.66	29.71	21.11	15.62
	Système C - Vitesse 3				64.83	48.93	40.34	35.05
	Système D 15% - Vitesse 1						13.34	7.86
	Système D 15% - Vitesse 3						16.00	10.49
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	255.04	135.30	108.30	82.25	61.29	50.64	44.18
	Système C - Vitesse 1				56.00	34.59		
	Système C - Vitesse 3				81.42	59.07		
	Système D 15% - Vitesse 1						15.27	8.90
	Système D 15% - Vitesse 3						18.21	11.78

Remarquons que ces résultats-ci permettent une comparaison objective avec le cas « Quartier Nappe – rue du Fenouil n°3 » car il s'agit exactement de la même habitation mais implantée différemment sur un autre territoire.

L'évolution de la diminution de la demande de chauffage est considérable entre les différents niveaux d'isolation et les différents systèmes de ventilation. La Figure 34 permet de bien visualiser l'évolution importante entre chaque niveau d'isolation l'un par rapport à l'autre.

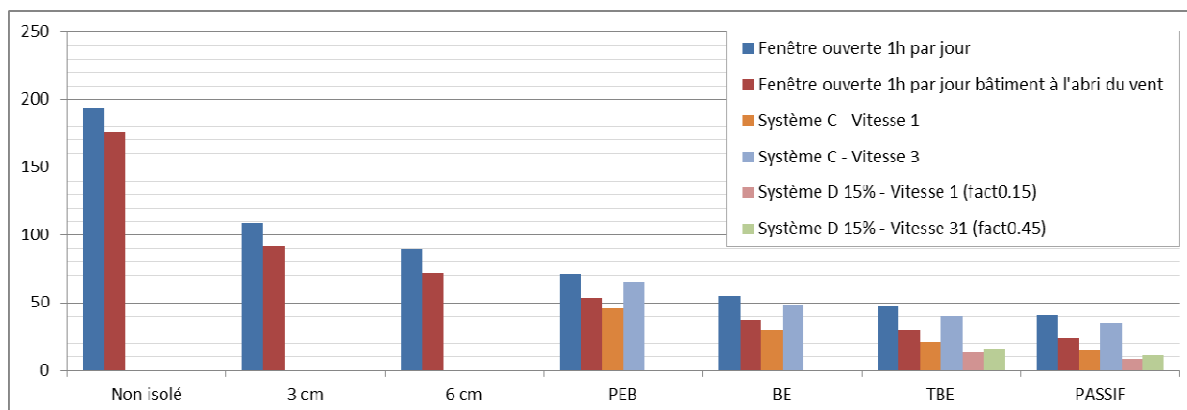


Figure 34 : Demande de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Ruban - Fenouil 3 en fonction des 7 différents niveaux d'isolation (Climat Uccle – Th 20-16°C).

Ces réductions des consommations sont essentielles à envisager lors du choix de la rénovation. Le tableau ci-dessous donne un aperçu des réductions d'énergie de chauffage faites lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre. Ce tableau exploite les résultats pour des consignes de thermostat de 20 -16°C dans trois cas :

- lorsque tous les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (même le BE, le TBE et le SP) : partie A du tableau,
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 1 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 1 (pour le TBE et le SP) : partie B du tableau, et
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 3 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 3 (pour le TBE et le SP) : partie C du tableau.

Tableau 50 : Réductions d'énergie de chauffage (en %) réalisées lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre pour le cas Quartier Ruban - Fenouil 3 (Climat Uccle – Th 20-16°C).

A.) Gain de ... à ... (système A pour tous)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	43.65%	53.56%	63.27%	71.53%	75.96%	78.84%
De 3cm à ...		17.59%	34.81%	49.47%	57.33%	62.45%
De 6cm à ...			20.90%	38.69%	48.23%	54.44%
De PEB à ...				22.49%	34.54%	42.40%
De BE à ...					15.55%	25.69%
De TBE à ...						12.00%
B.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 1)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	76.37%	84.63%	93.10%	95.93%
De 3cm à ...		Id.	58.07%	72.72%	87.75%	92.78%
De 6cm à ...			49.13%	66.90%	85.13%	91.24%

De PEB à ...			34.94%	70.78%	82.79%	
De BE à ...				55.08%	73.54%	
De TBE à ...					41.10%	
C.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 3)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	66.46%	74.68%	91.72%	94.57%
De 3cm à ...		Id.	40.48%	55.07%	85.31%	90.37%
De 6cm à ...			27.77%	45.48%	82.17%	88.32%
De PEB à ...				24.52%	75.31%	83.82%
De BE à ...					67.30%	78.57%
De TBE à ...						34.46%

Variation paramétrée : impact d'une forêt de feuillu placée devant la maison

Ce quartier périurbain, très vert, présente la particularité à cet endroit d'être construit uniquement d'un seul côté de la rue laissant la place à une forêt de feuillus de l'autre côté de celle-ci. Les résultats de demandes de chaleur issus de la variation du cas de base sont visibles dans le tableau ci-dessous. Il reprend les résultats des simulations TAS avec :

- le climat de Uccle – un thermostat 20-16°C
- le climat de Uccle – un thermostat 20°C constant

Cette variation a pour but d'analyser l'impact d'une forêt au niveau des consommations de chauffage. Le chapitre « Choix des paramètres » reprend les détails concernant les paramètres des simulations.

Tableau 51 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Ruban – Fenouil 3 : cas de base sans forêt.

Climat : Uccle								
Simulation : Quartier Ruban SANS forêt		NI	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	181.65	98.42	79.57	60.98			
	Fenêtre ouverte 1h par jour bâtiment à l'abri du vent	173.03	89.81	70.96	52.37			
	Système C - Vitesse 1				44.54	28.69	20.20	15.04
	Système C - Vitesse 3				63.69	47.88	39.37	34.42
	Système D 15% - Vitesse 1						12.50	7.35
	Système D 15% - Vitesse 3						15.13	9.94
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	241.72	123.35	96.73	70.92			
	Système C - Vitesse 1				54.67	33.42		
	Système C - Vitesse 3				80.07	57.82		
	Système D 15% - Vitesse 1						14.34	8.33
	Système D 15% - Vitesse 3						17.26	11.17

5.2.4. Quartier Semi-Mitoyen - Maison sociale « 3 façades » de la Cité Chavée

Les résultats de demandes de chaleur (en kWh/m².an) issus des simulations sont visibles dans le tableau ci-dessous. Il reprend les résultats des simulations TAS avec :

- le climat de Uccle – un thermostat 20-16°C
- le climat de Uccle – un thermostat 20°C constant

La seconde partie du tableau permet de constater que les résultats obtenus dans les conditions du dimensionnement du PHPP correspondent à des demandes de chaleur respectant les 3 standards exploités (à savoir : le standard basse énergie (<60kWh/m².an), le standard très basse énergie (<30kWh/m².an) et le standard passif (<15kWh/m².an). Le chapitre « Choix des paramètres » reprend les détails concernant les paramètres des simulations.

Tableau 52 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Semi-Mitoyen - Cité Chavée : cas de base.

Climat : Uccle								
Simulation : Quartier Semi-Mitoyen - Cité Chavée		NI	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	211.79	97.62	72.04	50.87	21.71	19.99	12.90
	Fenêtre ouverte 1h par jour bâtiment à l'abri du vent	211.59	97.42	71.84	50.67	21.50	19.77	12.68
	Système C - Vitesse 1				51.97	22.55	20.76	13.61
	Système C - Vitesse 3				74.36	45.05	43.24	36.29
	Système D 15% - Vitesse 1						11.89	5.09
	Système D 15% - Vitesse 3						14.90	7.83
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	301.33	130.65	92.53	62.44			
	Système C - Vitesse 1				66.32	26.28		
	Système C - Vitesse 3				97.00	54.62		
	Système D 15% - Vitesse 1						14.06	5.89
	Système D 15% - Vitesse 3						17.44	8.95

L'évolution de la diminution de la demande de chauffage est considérable entre les différents niveaux d'isolation et les différents systèmes de ventilation. La Figure 35 permet de bien visualiser l'évolution importante entre chaque niveau d'isolation.

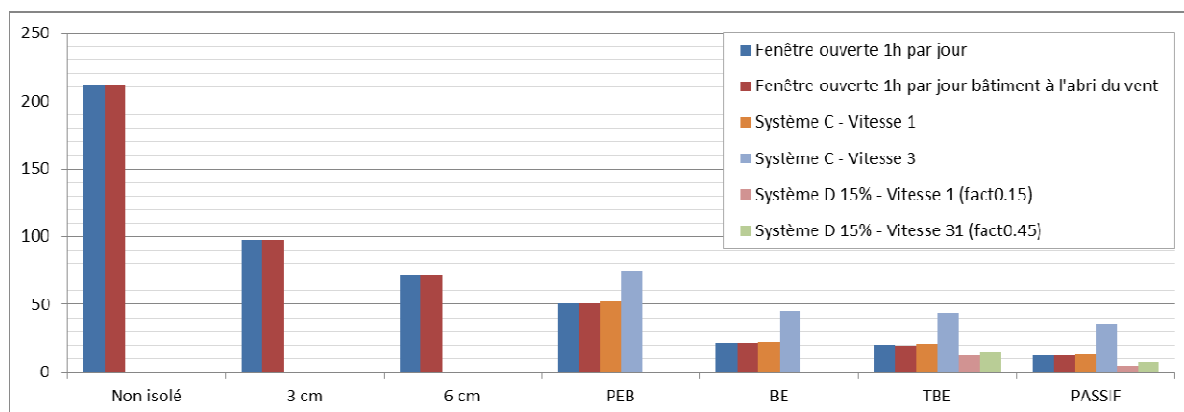


Figure 35 : Demande de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Semi-mitoyen – Cité Chavée en fonction des 7 différents niveaux d'isolation (Climat Uccle – Th 20-16°C).

Ces réductions de consommation sont essentielles à envisager lors du choix de la rénovation. Le tableau ci-dessous donne un aperçu en reprenant les réductions d'énergie de chauffage faites lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre. Ce tableau exploite les résultats pour des consignes de thermostat de 20-16°C dans trois cas :

- les lorsque tous les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (même le BE, le TBE et le SP) : partie A du tableau,
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 1 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 1 (pour le TBE et le SP) : partie B du tableau, et
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 3 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 3 (pour le TBE et le SP) : partie C du tableau.

Tableau 53 : Réductions d'énergie de chauffage (en %) réalisées lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre pour le cas Semi-mitoyen - Cité Chavée (Climat Uccle – Th 20-16°C).

A.) Gain de ... à ... (système A pour tous)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	53.91%	65.99%	75.98%	89.75%	90.56%	93.91%
De 3cm à ...		26.21%	47.89%	77.76%	79.52%	86.79%
De 6cm à ...			29.38%	69.86%	72.25%	82.10%
De PEB à ...				57.32%	60.71%	74.65%
De BE à ...					7.94%	40.60%
De TBE à ...						35.48%
B.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 1)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	75.46%	89.35%	94.39%	97.60%
De 3cm à ...		Id.	46.76%	76.90%	87.82%	94.79%
De 6cm à ...			27.85%	68.70%	83.50%	92.94%
De PEB à ...				56.62%	77.13%	90.21%
De BE à ...					47.27%	77.43%
De TBE à ...						57.20%
C.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 3)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	64.89%	78.73%	92.97%	96.30%
De 3cm à ...		Id.	23.83%	53.85%	84.74%	91.98%
De 6cm à ...			3.12%	37.47%	79.32%	89.14%
De PEB à ...				39.42%	79.97%	89.48%
De BE à ...					66.93%	82.63%
De TBE à ...						47.46%

5.2.5. Quartier Semi-Mitoyen - Maison sociale « 2 façades » du Foyer Fontainois

Les résultats de demandes de chaleur (en kWh/m².an) issus des simulations pour le cas « Fenouil 7 » sont visibles dans le tableau ci-dessous. Il reprend les résultats des simulations TAS avec :

- le climat de Uccle – un thermostat 20-16°C
- le climat de Uccle – un thermostat 20°C constant

La seconde partie du tableau permet de constater que les résultats obtenus dans les conditions du dimensionnement du PHPP correspondent à des demandes de chaleur respectant les 3 standards exploités (à savoir : le standard basse énergie (<60kWh/m².an), le standard très basse énergie (<30kWh/m².an) et le standard passif (<15kWh/m².an). Le chapitre « Choix des paramètres » reprend les détails concernant ces paramètres.

Tableau 54 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Semi-Mitoyen - Foyer Fontainois : cas de base.

Climat : Uccle								
Simulation : Quartier Semi-Mitoyen -Foyer Fontainois		NI	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	176.28	114.04	96.35	76.85	55.66	49.76	45.56
	Système C - Vitesse 1				41.77	20.33	14.51	10.35
	Système C - Vitesse 3				65.22	43.14	36.63	33.05
	Système D 15% - Vitesse 1						7.05	3.12
	Système D 15% - Vitesse 3						9.49	5.39
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	221.00	134.47	134.47	85.69	59.67	52.62	47.96
	Système C - Vitesse 1				48.90	23.08		
	Système C - Vitesse 3				77.37	49.00		
	Système D 15% - Vitesse 1						8.14	3.61
	Système D 15% - Vitesse 3						10.84	6.12

L'évolution de la diminution de la demande de chauffage est considérable entre les différents niveaux d'isolation et les différents systèmes de ventilation. La Figure 36 permet de bien visualiser l'évolution importante entre chaque niveau d'isolation

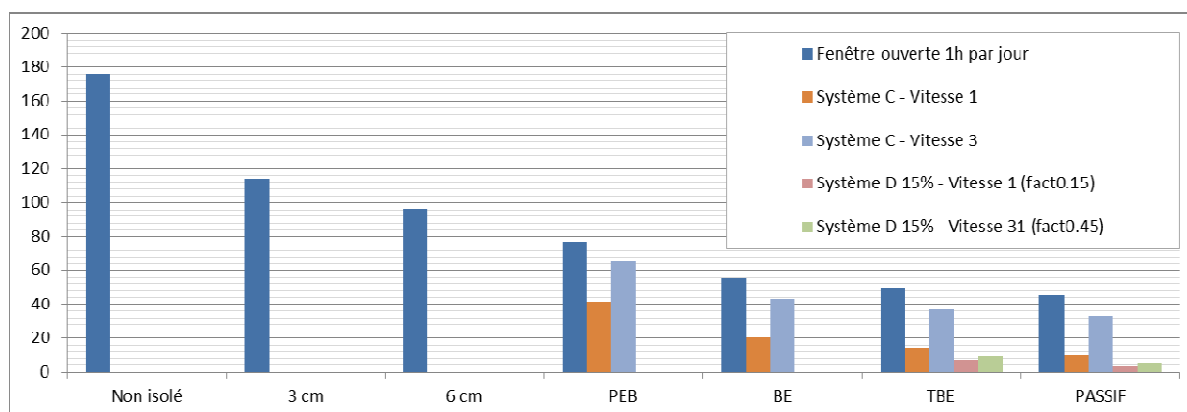


Figure 36 : Demande de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Semi-mitoyen – Foyer Fontainois en fonction des 7 différents niveaux d'isolation (Climat Uccle – Th 20-16°C).

Ces réductions des consommations sont essentielles à envisager lors du choix de la rénovation. Le tableau ci-dessous donne un aperçu en reprenant les réductions d'énergie de chauffage faites lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre. Ce tableau exploite les résultats pour des consignes de thermostat de 20-16°C dans trois cas :

- lorsque tous les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (même le BE, le TBE et le SP) : partie A du tableau,
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm) un système C à la vitesse 1 (pour le SA, le BE et un système D à la vitesse 1 (pour le TBE et le SP) : partie B du tableau et
- lorsque tous les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 3 (pour le SA, le BE et un système D à la vitesse 3 (pour le TBE et le SP) : partie C du tableau.

Tableau 55 : Réductions d'énergie de chauffage (en %) réalisées lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre pour le cas Semi-mitoyen – Foyer Fontainois (Climat Uccle – Th 20-16°C).

A.) Gain de ... à ... (système A pour tous)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	35.31%	45.34%	56.41%	68.42%	71.77%	74.15%
De 3cm à ...		15.51%	32.61%	51.19%	56.37%	60.04%
De 6cm à ...			20.25%	42.23%	48.36%	52.71%
De PEB à ...				27.57%	35.25%	40.71%
De BE à ...					10.61%	18.14%
De TBE à ...						8.43%
B.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 1)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	76.30%	88.47%	96.00%	98.23%
De 3cm à ...		Id.	63.37%	82.17%	93.82%	97.26%
De 6cm à ...			56.65%	78.90%	92.69%	96.76%
De PEB à ...				51.33%	83.13%	92.53%
De BE à ...					65.34%	84.65%
De TBE à ...						55.70%
C.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 3)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	63.00%	75.53%	94.61%	96.94%
De 3cm à ...		Id.	42.81%	62.17%	91.68%	95.27%
De 6cm à ...			32.31%	55.23%	90.15%	94.40%
De PEB à ...				33.86%	85.44%	91.73%
De BE à ...					77.99%	87.50%
De TBE à ...						43.21%

5.2.6. Quartier Mixte - Ancienne ferme à Chaumont-Gistoux

Les résultats de demandes de chaleur (en kWh/m².an) issus des simulations sont visibles dans le tableau ci-dessous. Il reprend les résultats des simulations TAS avec :

- le climat de Uccle – un thermostat 20-16°C
- le climat de Uccle – un thermostat 20°C constant

La seconde partie du tableau permet de constater que les résultats obtenus dans les conditions du dimensionnement du PHPP correspondent à des demandes de chaleur respectant les 3 standards exploités (à savoir : le standard basse énergie (<60kWh/m².an), le standard très basse énergie (<30kWh/m².an) et le standard passif (<15kWh/m².an). Le chapitre « Choix des paramètres » reprend les détails concernant les paramètres des simulations.

Tableau 56 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Mixte - Chaumont-Gistoux : cas de base.

Climat : Uccle								
Simulation : Quartier Mixte - Chaumont-Gistoux		NI	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	185.05	118.03	98.78	77.68	56.95	46.97	43.12
	Système C - Vitesse 1				48.82	27.98	17.73	13.99
	Système C - Vitesse 3				71.66	50.53	39.94	36.71
	Système D 15% - Vitesse 1						9.69	5.81
	Système D 15% - Vitesse 3						12.33	8.46
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	238.64	144.18	117.21	88.46			
	Système C - Vitesse 1				58.82	32.17		
	Système C - Vitesse 3				88.39	59.38		
	Système D 15% - Vitesse 1						11.07	6.58
	Système D 15% - Vitesse 3						13.98	9.47

L'évolution de la diminution de la demande de chauffage est considérable entre les différents niveaux d'isolation et les différents systèmes de ventilation. La Figure 37 permet de bien visualiser l'évolution importante entre chaque niveau d'isolation.

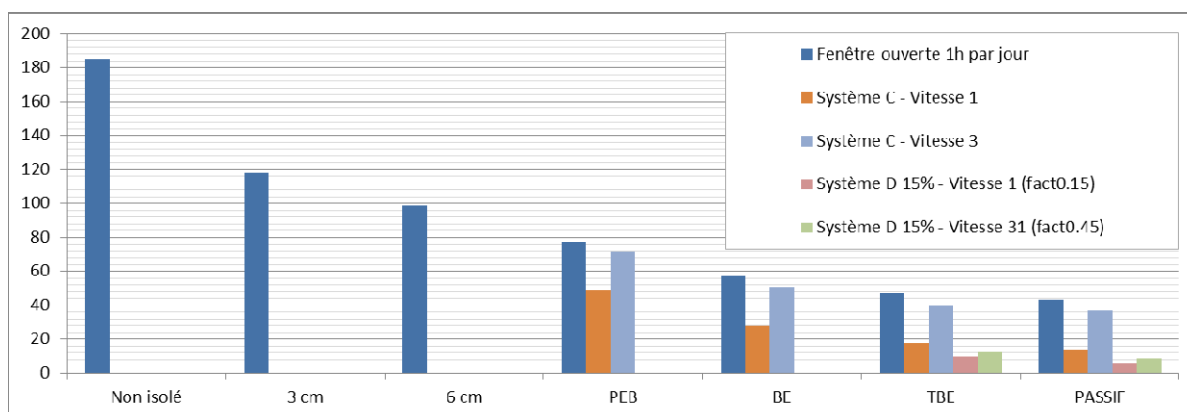


Figure 37 : Demande de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Mixte – Chaumont-Gistoux en fonction des 7 différents niveaux d'isolation (Climat Uccle – Th 20-16°C).

Ces réductions des consommations sont essentielles à envisager lors du choix de la rénovation. Le tableau ci-dessous donne un aperçu en reprenant les réductions d'énergie de chauffage faites lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre. Ce tableau exploite les résultats pour des consignes de thermostat de 20 -16°C dans trois cas :

- lorsque tous les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (même le BE, le TBE et le SP) : partie A du tableau,
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 1 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 1 (pour le TBE et le SP) : partie B du tableau, et
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 3 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 3 (pour le TBE et le SP) : partie C du tableau.

Tableau 57 : Réductions d'énergie de chauffage (en %) réalisées lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre pour le cas Quartier Mixte – Chaumont-Gistoux (Climat Uccle – Th 20 -16°C).

A.) Gain de ... à ... (système A pour tous)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	36.21%	46.62%	58.02%	69.22%	74.62%	76.70%
De 3cm à ...		16.31%	34.19%	51.75%	60.21%	63.47%
De 6cm à ...			21.36%	42.34%	52.45%	56.35%
De PEB à ...				26.69%	39.54%	44.50%
De BE à ...					17.53%	24.30%
De TBE à ...						8.20%
B.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 1)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	73.62%	84.88%	94.76%	96.86%
De 3cm à ...		Id.	58.64%	76.29%	91.79%	95.08%
De 6cm à ...			50.58%	71.67%	90.19%	94.12%
De PEB à ...				42.68%	80.15%	88.10%
De BE à ...					65.36%	79.23%
De TBE à ...						40.03%
C.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 3)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	61.28%	72.69%	93.33%	95.43%
De 3cm à ...		Id.	39.29%	57.19%	89.55%	92.84%
De 6cm à ...			27.46%	48.85%	87.51%	91.44%
De PEB à ...				29.49%	82.79%	88.20%
De BE à ...					80.82%	83.26%
De TBE à ...						31.44%

Variation paramétrée : impact d'un MUR PLEIN

Cette ancienne ferme a été modélisée et simulée avec des murs creux par souci d'uniformité avec les autres simulations. Cependant, cela n'est pas représentatif de la réalité. C'est pourquoi une variante a été testée permettant d'analyser les différences

entre un mur creux et un mur plein. Les résultats de demandes de chaleur issus de la variation du cas de base sont visibles dans le tableau ci-dessous. Il reprend les résultats des simulations TAS avec :

- le climat de Uccle – un thermostat 20-16°
- le climat de Uccle – un thermostat 20°C constant

Le chapitre « Choix des paramètres » reprend les détails concernant les paramètres des simulations.

Tableau 58 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Mixte – Chaumont-Gistoux : cas de base avec murs pleins.

Climat : Uccle					
Simulation : Mur Plein (Chaumont-Gistoux)		NI	3 cm	6 cm	PEB
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	193.08	119.94	99.61	78.23
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	249.76	147.09	118.49	89.24

5.2.7. Quartier Mixte - Ancienne ferme à Bousval

Les résultats de demandes de chaleur (en kWh/m².an) issus des simulations sont visibles dans le tableau ci-dessous. Il reprend les résultats des simulations TAS avec :

- le climat de Uccle – un thermostat 20-16°C
- le climat de Uccle – un thermostat 20°C constant

La seconde partie du tableau permet de constater que les résultats obtenus dans les conditions du dimensionnement du PHPP ne correspondent pas toujours aux demandes de chaleur respectant les 3 standards exploités. Le standard basse énergie (<60kWh/m².an) et le standard très basse énergie (<30kWh/m².an) répondent aux exigences. Mais le standard passif (<15 kWh/m².an) dépasse cette limite (19.18 kWh/m².an) or elle le respectait lors du dimensionnement sur le PHPP. En effet, certains cas sont assez difficiles à mettre au standard passif et dans ce cas-ci, plusieurs explications peuvent être apportées :

- Les GI sont assez faibles dans le bâtiment modélisé et simulé dans TAS par rapport à ceux du dimensionnement du PHPP car ce dernier prévoit que la maison est occupée par 8 personnes or il n'y a que 4 personnes.
- La surface énergétique prend en compte la surface du grenier à raison de 60%, or elle pourrait aussi intégrer 60% des surfaces de la cave et des annexes ce qui n'est pas le cas.
- Les portes représentent une perte thermique immense et dans ce cas, il y en a 4 en plus de la porte d'entrée principale afin d'assurer une liaison avec les annexes. Cela montre le caractère très pratique de cette ancienne ferme mais cela rend le passage au niveau passif bien plus difficile ! D'autres points faibles sont à signaler comme les

escaliers vers la cave et le grenier, sources d'infiltration d'air et de difficultés dans la continuité de l'isolation. Si ce second point est également présent dans d'autres cas analysés, Bousval est le seul combinant l'ensemble de ces défauts.

- L'orientation n'est pas idéale : ONO et ESE.

Il serait intéressant de tester le même bâtiment mais avec un autre agencement qui permettrait d'accueillir plus de personne : le bureau du RDC deviendrait la chambre des parents, le salon accueillerait aussi la salle à manger et la salle à manger deviendrait le bureau soit 5 personnes mais regroupement de pièces. Une autre possibilité d'agencement serait de ne pas tenir compte de la partie à gauche à l'entrée, de regrouper le salon et la salle à manger et de mettre soit une chambre, soit un bureau à la place de la salle à manger actuelle (dernière pièce du côté SSO, voir plan Annexe 1).

Le chapitre « Choix des paramètres » reprend les détails concernant les paramètres des simulations.

Tableau 59 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Mixte – Bousval : cas de base.

Climat : Uccle								
Simulation : Quartier Mixte - Bousval		NI	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	148.13	90.86	73.35	55.49	33.84	25.71	19.93
	Système C - Vitesse 1				55.36	33.76	25.68	20.05
	Système C - Vitesse 3				66.75	45.22	37.23	31.76
	Système D 15% - Vitesse 1						20.85	15.09
	Système D 15% - Vitesse 3						22.55	16.83
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	201.18	119.92	94.98	69.56			
	Système C - Vitesse 1				70.96	40.64		
	Système C - Vitesse 3				86.60	55.86		
	Système D 15% - Vitesse 1						24.05	17.18
	Système D 15% - Vitesse 3						26.06	19.18

L'évolution de la diminution de la demande de chauffage est considérable entre les différents niveaux d'isolation et les différents systèmes de ventilation. La Figure 38 permet de bien visualiser l'évolution importante entre chaque niveau d'isolation.

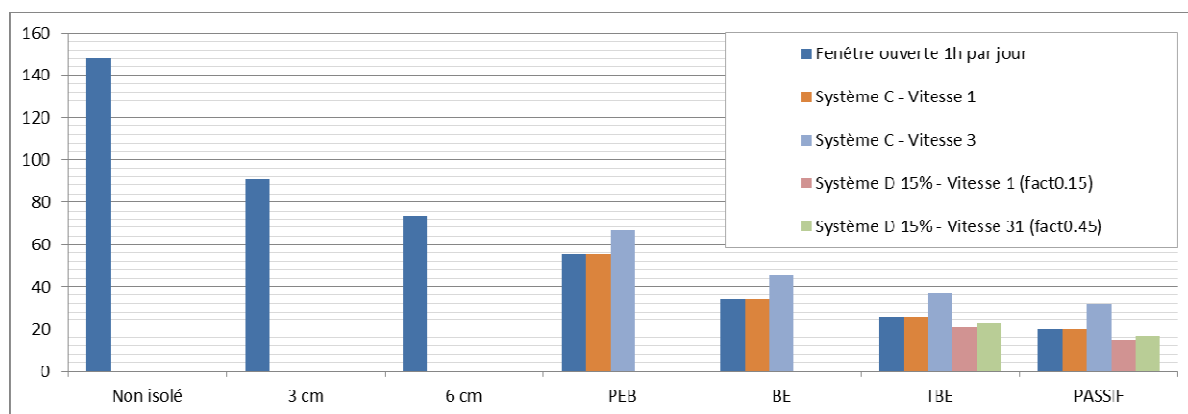


Figure 38 : Demande de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Mixte – Bousval en fonction des 7 différents niveaux d'isolation (Climat Uccle – Th 20-16°C).

Ces réductions des consommations sont essentielles à envisager lors du choix de la rénovation. Le tableau ci-dessous donne un aperçu en reprenant les réductions d'énergie de chauffage faites lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre. Ce tableau exploite les résultats pour des consignes de thermostat de 20-16°C dans trois cas :

- lorsque tous les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (même le BE, le TBE et le SP) : partie A du tableau,
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 1 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 1 (pour le TBE et le SP) : partie B du tableau, et
- lorsque les niveaux d'isolation fonctionnent avec un système A (pour le NI, le 3cm et le 6cm), un système C à la vitesse 3 (pour le SA, le BE) et un système D à la vitesse 3 (pour le TBE et le SP) : partie C du tableau.

Tableau 60 : Réductions d'énergie de chauffage (en %) réalisées lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre pour le cas Quartier Mixte - Bousval (Climat Uccle – Th 20-16°C).

A.) Gain de ... à ... (système A pour tous)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	38.66%	50.48%	62.54%	77.15%	82.64%	86.55%
De 3cm à ...		19.27%	38.93%	62.76%	71.70%	78.07%
De 6cm à ...			24.35%	53.87%	64.95%	72.83%
De PEB à ...				39.02%	53.67%	64.09%
De BE à ...					24.02%	41.11%
De TBE à ...						22.48%
B.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 1)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	62.63%	77.21%	85.93%	89.81%
De 3cm à ...		Id.	39.07%	62.85%	77.05%	83.39%
De 6cm à ...			24.53%	53.98%	71.58%	79.42%
De PEB à ...				39.02%	62.34%	72.74%
De BE à ...					38.24%	55.29%
De TBE à ...						27.61%

C.) Gain de ... à ... (système C et D vitesse 3)						
	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	Id.	Id.	54.93%	69.47%	84.78%	88.64%
De 3cm à ...		Id.	26.53%	50.23%	75.18%	81.47%
De 6cm à ...			8.99%	38.35%	69.26%	77.05%
De PEB à ...				32.26%	66.22%	74.79%
De BE à ...					53.89%	62.78%
De TBE à ...						25.35%

Variation paramétrée : impact d'un MUR PLEIN

Cette ancienne ferme a été modélisée et simulée avec des murs creux par souci d'uniformité avec les autres simulations. Cependant, cela n'est pas représentatif de la réalité. C'est pourquoi une variante a été testée permettant d'analyser les différences entre un mur creux et un mur plein. Les résultats de demandes de chaleur issus de la variation du cas de base sont visibles dans le tableau ci-dessous. Il reprend les résultats des simulations TAS avec :

- le climat de Uccle – un thermostat 20 -16°C
- le climat de Uccle – un thermostat 20°C constant

Le chapitre « Choix des paramètres » reprend les détails concernant les paramètres des simulations.

Tableau 61 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ m².an du cas Quartier Mixte – Bousval : cas de base avec murs pleins.

Climat : Uccle					
Simulation : Mur Plein (Bousval)		NI	3 cm	6 cm	PEB
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	155.17	92.55	74.07	55.96
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	210.76	122.83	96.40	70.55

5.3. VARIATIONS PARAMETREES : DISCUSSIONS

La diversité des résultats présentés au chapitre précédent va permettre de mettre en avant, dans ce chapitre, les variations paramétrées qui ont été simulées et analysées pour l'étude. L'exploitation des résultats se fait par « thèmes » et certain, comme les différents niveaux d'isolations se retrouve à travers plusieurs analyses.

5.3.1. Le climat (Uccle >< Saint-Hubert)

Le climat joue un rôle essentiel dans la modélisation des maisons ayant pour but d'atteindre un standard quelconque. Si une maison est modélisée pour un standard passif avec un climat d'Uccle, elle ne l'atteindra pas si elle est construite dans une zone soumise à un climat de Saint-Hubert (voir aussi Tableau 41). La Figure 39 reprend 4 séries de résultats du cas « Nappe - Fenouil 3 », pour les deux climats en question (Uccle et Saint-

hubert). Les résultats correspondant aux conditions de modélisation de la norme (courbe orange) pour le climat de Uccle sont proches des valeurs exigées par celle-ci (carré vert). Mais si on observe ce que deviennent ces valeurs correspondant aux conditions de modélisation de la norme mais sous un climat de St-Hubert (courbe bleue foncée), il apparaît qu'elles dépassent les valeurs exigées par les normes. Ce qui est logique puisque la maison a été modélisée pour un climat d'Uccle considéré comme étant plus représentatif du climat Wallon. Maintenant, si on observe les courbes plus représentatives de la réalité (courbes jaune et bleu ciel), on peut constater que dans les deux cas, les demandes de chaleur respectent bien les standards.

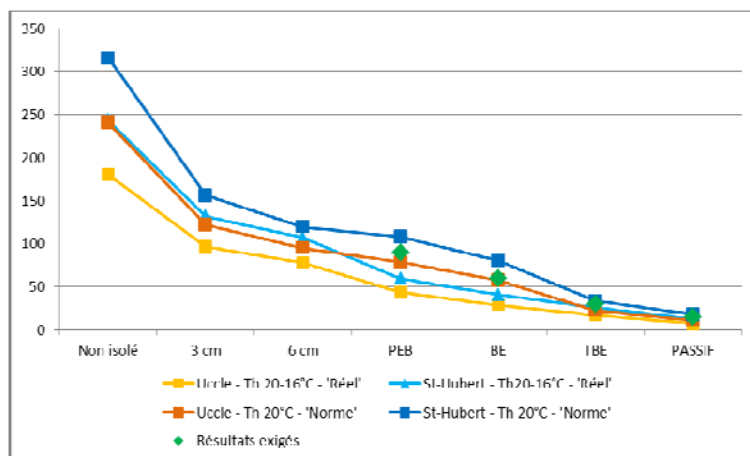


Figure 39 : Comparaison des demandes de chaleur (en kWh/m².an) en fonction du climat (pour 7 niveaux d'isolation)

Les différences entre les deux climats peuvent atteindre 26% (ou 63 kWh/m².an) pour un cas NI ou encore 38% (ou 6 kWh/m².an) au niveau SP. Cette différence s'accroît plus le bâtiment est énergétiquement performant (voir tableau ci-dessous). Cette différence en % est un peu moins importante lorsque les modèles correspondent aux conditions de modélisation du PHPP bien que cette différence en terme de kWh/m².an est légèrement plus marquée.

Tableau 62 : Différence des demandes de chaleur entre Uccle & Saint-Hubert (en % et en kWh/m².an)

		NI	3 cm	6 cm	PEB (syst C)	BE	TBE	SP
« Réalité » - Th 20-16°C	%	25.86%	26.89%	27.40%	25.08%	26.22%	32.39%	38.49%
	kWh/m².an	62.82	35.47	29.25	20.97	16.92	9.47	6.13
« Norme » - Th 20°C	%	23.77%	22.05%	20.54%	27.06%	28.26%	32.27%	37.70%
	kWh/m².an	74.95	34.37	24.50	29.17	22.65	10.75	6.67

5.3.2. Les consignes

Les consignes sont également un paramètre influençant les consommations de chauffage. Si le climat ou le niveau d'isolation n'est pas directement un choix des occupants, ce paramètre-ci en dépend entièrement. L'ensemble des cas étudiés ont été modélisés pour correspondre aux conditions de modélisation de la norme. Cela impliquait un chauffage de 20°C en continu (jour et nuit) et une ventilation allant à une vitesse 3. Afin de valider les modélisations les cas ont été modélisés avec ces conditions. Ils répondent tous à ces conditions et respectent bien, avec ces conditions, les différents standards (voir les différents tableaux reprenant les résultats des simulations). Les exigences à respecter placent le dimensionnement des bâtiments du côté de la sécurité car dans la pratique les usagers ne gardent généralement pas ces critères. Le Tableau 63 permet de comparer les deux principales consignes pour les 7 différents cas étudiés à tous les niveaux d'isolations étudiés. Il reprend la différence entre les demandes de chaleur obtenues sur base de ces deux consignes : thermostat placé dans un cas à 20°C de manière constante (conformément aux exigences de modélisation) et dans l'autre, 20 °C avec une diminution de la température à 16 °C la nuit et lors des périodes d'inoccupation en journée (la saison de chauffe est du 1^{er} octobre au 1^{er} mai). Pour les cas utilisant une ventilation (c'est-à-dire les cas SA, BE avec un système C et les cas TBE et SP avec un système D), la ventilation est placée sur une vitesse de 3 qui est la plus rapide dans les cas correspondant à la norme, dans ceux correspondant davantage à la réalité, la vitesse est la plus faible, soit la 1.

Tableau 63 : Différence de demande de chaleur (en % et en kWh/m².an) entre les cas correspondant aux exigences de modélisation des normes (Th 20°C et ventilation 3) et ceux correspondant à des critères plus proches de la réalité (Th 20-16°C et ventilation 1)

		NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
Nappe - F3	%	25.06%	20.62%	18.24%	44.68%	50.49%	24.51%	34.27%
(climat Uccle)	kWh/m².an	60.25	25.06	17.29	35.13	29.02	5.53	3.78
Nappe - F3	%	22.95%	15.38%	10.51%	44.58%	49.38%	22.87%	29.66%
(climat St-Hubert)	kWh/m².an	72.37	23.98	12.54	48.05	39.57	7.62	5.25
Nappe F7	%	28.21%	22.97%	19.63%	43.76%	51.44%	29.39%	41.80%
	kWh/m².an	83.29	27.23	16.16	34.74	26.96	3.88	2.7
Ruban - F3	%	24.22%	19.50%	17.12%	43.92%	49.70%	26.74%	33.28%
	kWh/m².an	61.76	26.39	18.54	35.76	29.36	4.87	3.92
Semi-mitoyen -	%	29.71%	25.28%	22.14%	46.42%	58.71%	31.82%	43.13%
Cité Chavée	kWh/m².an	89.54	33.03	20.49	45.03	32.07	5.55	3.86
Semi-mitoyen -	%	20.24%	15.19%	28.35%	46.01%	58.51%	34.96%	49.02%
Foyer Fontainois	kWh/m².an	44.72	20.43	38.12	35.6	28.67	3.79	3
Mixte -	%	22.46%	18.14%	15.72%	44.77%	52.88%	30.69%	38.65%
Chaumont-Gistoux	kWh/m².an	53.59	26.15	18.43	39.57	31.4	4.29	3.66
Mixte - Bousval	%	26.37%	24.23%	22.77%	36.07%	39.56%	19.99%	21.32%
	kWh/m².an	53.05	29.06	21.63	31.24	22.1	5.21	4.09

L'impact de cette consigne est le plus important pour les cas utilisant un système C

(niveau SA et BE) puis pour ceux utilisant un système D et enfin pour ceux possédant un système A. Mais de manière générale, plus le bâtiment est isolé plus cet impact se fait ressentir. Dans certains cas même, les consignes correspondant à la norme fond « perdre » un niveau énergétique ce qui signifie par exemple qu'un bâtiment avec 6 cm d'isolation dans ses parois, chauffé avec des consignes correspondant à la norme consommera autant qu'un bâtiment avec 3 cm d'isolation dans ses parois mais chauffé avec des consignes plus modestes et moins énergivores. L'impact varie énormément : de 11% à 59%. Mais ces pourcentages sont très élevés. La moyenne des différences de chaque niveau d'isolation pour chaque habitation oscille entre 27-36% ce qui est énorme ! Surtout que cette consigne n'implique qu'une diminution des températures lors des périodes d'inoccupation en journée et la nuit.

Les consignes sont donc un pôle non contournable dans la recherche de l'amélioration de la gestion de l'énergie au sein d'une maison. D'ailleurs, le paragraphe « Influence des modes d'occupation sur les consommations de chauffage d'un bâtiment » complète ce paragraphe des « Consignes » en évoquant les différents types de comportements d'occupation d'une même habitation.

5.3.3. L'influence des gains internes et des gains solaires

Plus une habitation sera isolée, plus les gains internes (GI) et les gains solaires (GS) joueront un rôle important. Il est difficile de comparer les habitations entre elles tellement il y a de paramètres qui varient notamment ces gains internes et solaires. C'est pourquoi cette approche permettra aussi une meilleure compréhension des enjeux énergétiques des bâtiments.

La Figure 40 illustre les différents gains internes et solaires (durant la période de chauffe du 1^{er} octobre au 1^{er} mai) pour les 7 bâtiments étudiés plus le cas ruban sans forêt. On peut observer que les gains internes sont assez différents dans chaque bâtiment car ils sont exprimés en kWh/m² mais aussi car chaque bâtiment, de grandeurs différentes, accueille plus ou moins de gens et plus ou moins de pièces... Par contre les GI du cas *Nappe F3*, *Ruban* et *Ruban sans forêt* sont identiques car il s'agit du même bâtiment mais dans un contexte assez différents. Et on peut constater que leurs GS varient énormément juste en fonction de leur implantation car les dimensions des fenêtres sont les mêmes ! Le cas le mieux exposé est le *Nappe F3*. Pour le cas *Ruban*, on remarque l'impact de la forêt qui permet d'apporter des GS supplémentaires. (Rappelons que cette forêt est au SO.)

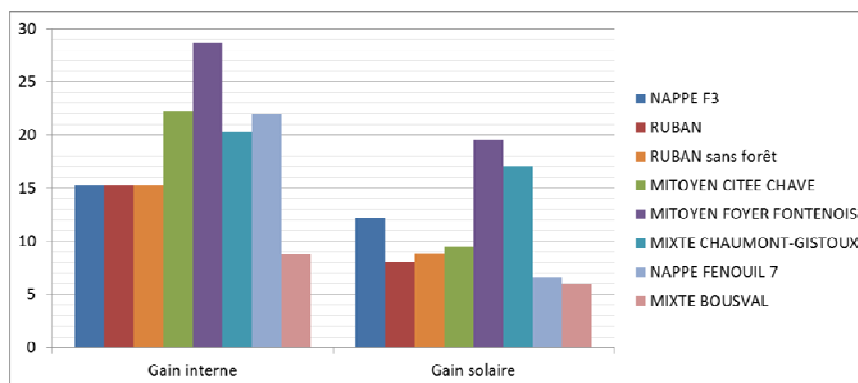


Figure 40 : Apport des gains internes et solaires (en kWh/m².an) durant la période de chauffe pour 8 cas étudiés

Ces gains internes jouent un rôle essentiel lors de la modélisation sur le PHPP. Les trois cas (Nappe-Fenouil 7, Semi-mitoyen-Cité Chavée et Mixte-Bousval) dont les surfaces énergétiques n'ont pas pu se limiter à la surfaces habitée mais ont dû inclure combles et/ou caves, sont trois cas mal exposés ! Voir paragraphe « Le logiciel de conception de maison passive PHPP 2007 ». Une mauvaise orientation rend certain standard assez difficile à atteindre.

Il est important de confronter ces apports tant solaires qu'internes à la demande de chaleur pour avoir une idée des besoins globaux de la maison. Bien sûr, il faut être conscient qu'à certains moments, les GI et/ou GS peuvent agir en surplus (à la base des surchauffes) et ne sont donc pas tout à fait représentatifs à ces moments. Les figures de la page suivante reprennent pour chaque niveau d'isolation une comparaison entre les différents cas étudiés.

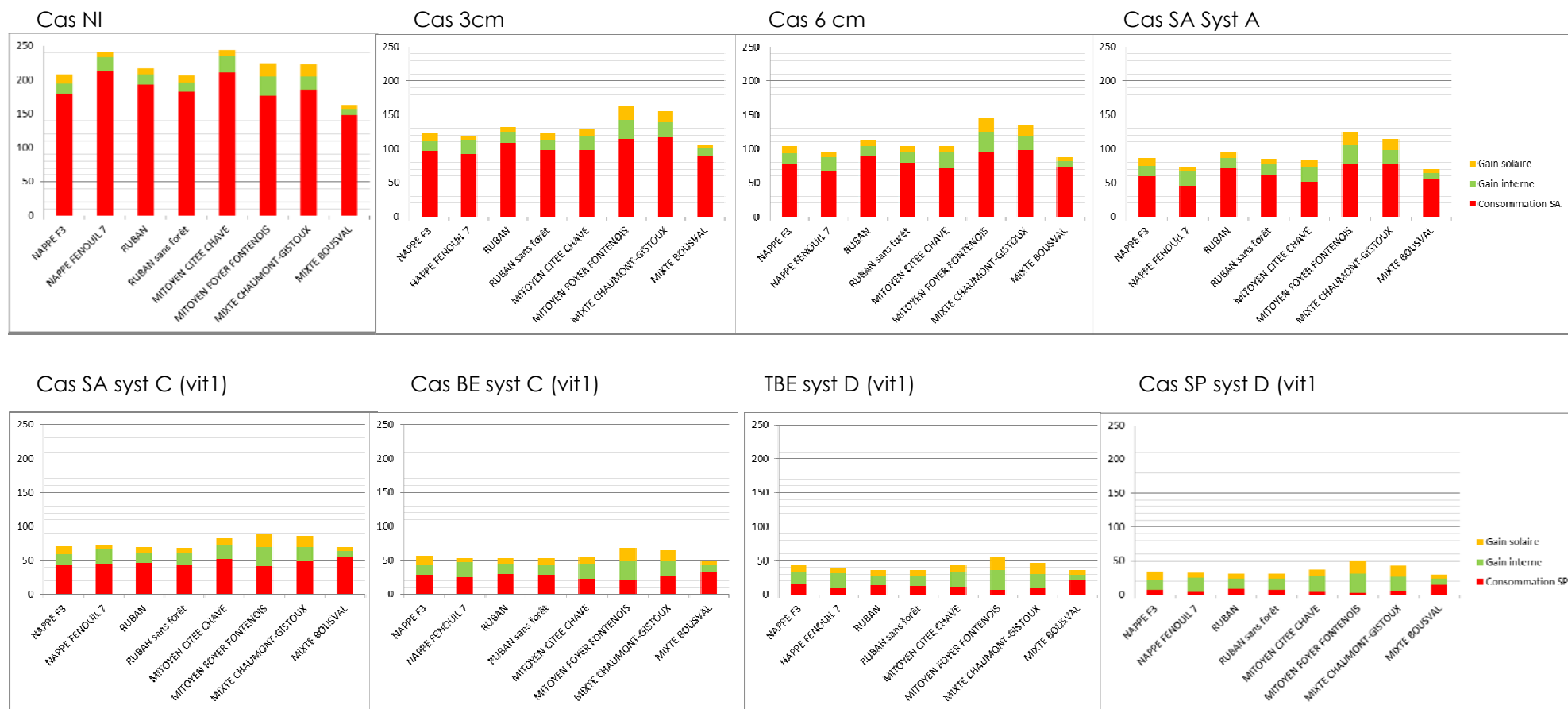


Figure 41 : Comparaison à chaque niveau d'isolation des gains internes, des gains solaires et des demandes de chaleur (en kWh/m².an) durant la période de chauffe pour les 8 cas étudiés.

Ces figures permettent de se rendre compte de l'évolution de l'impact de ces GI et GS. Si au début, ils influencent peu les demandes de chauffage, au niveau passif, ils deviennent vraiment plus importants que la demande de chauffage et de ce fait, incontournable. Il peut être intéressant de comparer les bâtiments les moins consommateurs en fonction de leur demande de chaleur et en fonction de leurs demandes de chauffage en y ajoutant les GI et les GS.

Cela s'observe sur les figures précédentes mais un classement est repris dans le tableau ci-dessous avec des valeurs chiffrées.

Tableau 64 : Classement des bâtiments des moins consommateurs aux plus consommateurs en fonction de leurs demandes de chauffage et en fonction de leurs demandes de chauffage auxquelles les GI et les GS sont ajoutés pour 3 niveaux d'isolation (en kWh/m².an).

A. CONSOMMATION		B. CONSOMMATION + GI + GS	
Non Isolé			
MIXTE BOUSVAL	148.13	MIXTE BOUSVAL	162.84
SEMI-MITOYEN FOYER FONTAINOIS	176.28	RUBAN sans forêt	205.81
NAPPE F3	180.13	NAPPE F3	207.60
RUBAN sans forêt	181.65	RUBAN	216.58
MIXTE CHAUMONT-GISTOUX	185.05	MIXTE CHAUMONT-GISTOUX	222.37
RUBAN	193.28	SEMI-MITOYEN FOYER FONTAINOIS	224.45
SEMI-MITOYEN CITEE CHAVE	211.79	NAPPE FENOUIL 7	240.50
NAPPE FENOUIL 7	212.00	SEMI-MITOYEN CITEE CHAVE	243.47
STANDARD ATCUEL			
SEMI-MITOYEN FOYER FONTAINOIS	41.77	RUBAN sans forêt	68.70
NAPPE F3	43.49	RUBAN	68.97
RUBAN sans forêt	44.54	MIXTE BOUSVAL	70.07
NAPPE FENOUIL 7	44.65	NAPPE F3	70.96
RUBAN	45.66	NAPPE FENOUIL 7	73.15
MIXTE CHAUMONT-GISTOUX	48.82	SEMI-MITOYEN CITEE CHAVE	83.66
SEMI-MITOYEN CITEE CHAVE	51.97	MIXTE CHAUMONT-GISTOUX	86.14
MIXTE BOUSVAL	55.36	SEMI-MITOYEN FOYER FONTAINOIS	89.94
STANDARD PASSIF			
SEMI-MITOYEN FOYER FONTAINOIS	3.12	MIXTE BOUSVAL	29.80
NAPPE FENOUIL 7	3.76	RUBAN	31.17
SEMI-MITOYEN CITEE CHAVE	5.09	RUBAN sans forêt	31.51
MIXTE CHAUMONT-GISTOUX	5.81	NAPPE FENOUIL 7	32.27
NAPPE F3	7.25	NAPPE F3	34.71
RUBAN sans forêt	7.35	SEMI-MITOYEN CITEE CHAVE	36.78
RUBAN	7.86	MIXTE CHAUMONT-GISTOUX	43.14
MIXTE BOUSVAL	15.09	SEMI-MITOYEN FOYER FONTAINOIS	51.29

Le cas Semi-mitoyen Foyer Fontainois peut servir d'exemple. Ce cas est le mieux classé dans la partie A du tableau et dans les derniers de la partie B (ce qui revient à être très bien classé). Cela signifie qu'il bénéficie de GI et de GS importants qui lui permettent de réduire ses consommations en les exploitant. Le cas de la Cité Chavée est « mal classé »

dans la partie A du tableau au niveau NI mais au niveau passif, sa position s'améliore énormément et ce grâce à ses GI et GS qui influencent peut-être les consommations quand le bâtiment n'est pas isolé mais ils deviennent déterminant lorsque le bâtiment devient passif. Lors de rénovations lourdes, il peut s'avérer intéressant d'agrandir ou non certaines baies afin de maximiser les gains solaires.

5.3.4. L'ouverture des fenêtres et l'impact du vent

Le renouvellement de l'air via une aération régulière des fenêtres est essentiel pour conserver un confort respiratoire de qualité. Bien évidemment cela engendre une hausse de la demande de chaleur. Le tableau ci-dessous reprend pour le cas « Nappe - Fenouil 3 » les différences de demandes de chaleur qu'entraîne l'ouverture des fenêtres pourtant essentielle à une bonne hygiène respiratoire.

Tableau 65 : Différence de demande de chaleur (en % et en kWh/m².an) du cas Nappe - Fenouil 7 pour un cas avec ouverture des fenêtre 1h par jour et un autre sans aération (pour 4 niveaux d'isolation pourvus d'un système A)

		NI	3 cm	6 cm	SA
Nappe - F3	%	14.13%	26.37%	32.80%	42.65%
(climat Uccle)	kWh/m².an	25.46	25.44	25.42	25.39

Plus le bâtiment est isolé, plus l'impact est important. Cela démontre clairement l'intérêt des systèmes de ventilation D avec récupérateur de chaleur, pour garantir une très bonne qualité de l'air tout en minimisant les pertes de chaleur (ce point sera débattu plus bas dans le texte).

Ce débit d'air issu de cette ouverture journalière des fenêtres dépend principalement du vent. A cette intention, ce paragraphe va se développer suivant deux points traitant d'une part de l'ouverture des fenêtres pour un bâtiment plus ou moins à l'abri du vent et d'autre part, de l'influence microclimatique que peut induire le vent sur un bâtiment, et ce, au moyen de coefficient de pression.

L'impact du vent et l'ouverture des fenêtres

L'impact du vent sur les ouvertures de fenêtre est visible dans le tableau ci-dessous qui représente la différence en % et en kWh/m².an entre le même cas, exposé « normalement » au vent et, ceux, mis à l'abri du vent. Le système de ventilation des différents niveaux d'isolation est en mode de fonctionnement A. Ceci peut sembler peu réaliste pour les cas BE, TBE ou encore SP qui de ce fait n'atteindront plus leur standard. Ce sont des cas rares mais potentiellement présents lorsque des habitants, mal préparés à « vivre » avec un système de ventilation mécanique, décident de boucher les bouches d'aération pour revenir à un système plus « traditionnel » qu'est le système A. De nouveau, plus le bâtiment est isolé, plus l'impact est important. Les trois cas repris dans le tableau sont, pour rappel, la même maison. Concevoir un bâtiment à l'abri du vent va clairement diminuer l'impact du vent sur la demande de chauffage pour autant que les apports solaires ne soient pas également diminués ! Le climat St-Hubert même s'il implique de plus grandes différences en terme de kWh/m².an n'est proportionnellement pas plus marqué par le vent. Le cas Ruban, lui de par son orientation différente est davantage marqué par

la différence « exposition au vent » ou « à l'abri du vent ».

Tableau 66 : Différence de demande de chaleur (en % et en kWh/m².an) entre les cas exposés "normalement" au vent et ceux à l'abri du vent

		NI	3 cm	6 cm	SA (syst A)	BE (syst A)	TBE (syst A)	SP (syst A)
Nappe - F3	%	4.55%	8.50%	10.57%	13.77%	18.40%	22.80%	26.50%
(climat Uccle)	kWh/m².an	8.19	8.2	8.19	8.2	8.19	8.17	8.18
Nappe - F3	%	4.26%	7.84%	9.70%	12.53%	16.32%	19.90%	22.89%
(climat St-Hubert)	kWh/m².an	10.35	10.34	10.35	10.35	10.35	10.36	10.36
Ruban - F3	%	8.96%	15.90%	19.30%	24.40%	31.47%	37.25%	42.33%
	kWh/m².an	17.32	17.32	17.32	17.32	17.32	17.31	17.31

L'impact du vent et les coefficients de pression

L'objectifs des coefficients de pression est de pouvoir introduire dans TAS des valeurs correspondants à des coefficients de pression qui ont été obtenue au moyen du logiciel Fluent (voir rapport précédent). Cela permettrait de tester en fonction du vent, différentes typologies de quartiers.

Cependant, l'introduction de ces valeurs dans TAS ne peut se faire que sur des ouvertures c'est-à-dire que ces coefficients ne pourront intervenir que lors de simulations où des fenêtres s'ouvrent, pour autant qu'elles soient ouvertes comme dans le cas des systèmes de ventilation C et D. Cela part du principe que pour que le vent produise un effet sur la paroi, il faut des ouvertures que ce soit des fissures sources d'infiltration ce qui semble très difficile à simuler soit des fenêtres ce qui a été simulé. Cela pose donc un problème pour voir l'impact perçu de ce vent lors des cas utilisant un système de ventilation C et/ou D.

Sur base des résultats obtenus dans fluent (se référer au premier rapport), trois fichiers de coefficients de pression ont été réalisés afin de les introduire dans TAS et plus précisément de les appliquer aux ouvertures. Chaque fichier contient pour chaque ouverture, les valeurs des coefficients de pression pour 8 directions du vent. Les trois fichiers ont permis de tester :

- Une situation où tous les coefficients de pressions sont nuls (CP0) ce qui correspond à un cas où il n'y a pas de vent ou un cas où la maison se trouve à l'abri du vent,
- Une situation où toutes les directions du vent ont une valeur ce qui implique que le vent vient de partout (CP8). Il s'agit évidemment d'un cas extrême.
- Une situation où le vent provient de 4 directions, celles d'orientation sud-ouest qui est le vent dominant en Belgique c'est-à-dire qu'il y a un vent de 45°C de parte et d'autre du SO (CP4SO).

Les résultats des simulations sont visibles dans le Tableau 40 pour un climat d'Uccle et de Saint-Hubert au niveau des lignes CP0, CP8 et CP4SO. Cependant, le logiciel TAS propose avec les ouvertures de fenêtres, une option « sheltered » qui permet de simuler le bâtiment avec l'ouverture à l'abri du vent. Cela nous a donc permis de comparer les résultats (CPO et les résultats issus de l'options « sheltered » et les deux hypothèses CP8 et CP4SO avec les résultats « classiques » de TAS) puisque de part et d'autre la simulation d'une ouverture

sous un vent normale et celle en l'absence de vent était possible.

Ces résultats, visualisable à la Figure 31, attestent d'une grande similitude ! En se concentrant sur les 2 cas « à l'abri du vent », pour tous les niveaux d'isolation, les différences varient de 0.34% au niveau non isolé à 2.52% au niveau standard passif ou en terme de kWh/m².an à une différence respectivement de 0.58 kWh/m².an et 0.57 kWh/m².an. Maintenant en se concentrant sur l'écart entre le « bâtiment au vent » et avec « CP4S0 », pour tous les niveaux d'isolation, il apparaît à nouveau que les résultats sont très proches ! Les différences varient entre 0.18% au niveau non isolé à 1.02% au niveau standard passif ou respectivement, en terme de kWh/m².an à 0.321 kWh/m².an à 0.318 kWh/m².an. La dernière comparaison se développe autour des résultats obtenus pour le « bâtiment au vent » et avec « CP8 », pour tous les niveaux d'isolation, où les différences varient de 1.54% au niveau non isolé à 8.34% au niveau standard passif ou en terme de kWh/m².an à respectivement une différence de 2.809 kWh/m².an et 2.807 kWh/m².an. Ce dernier cas étant plus extrême, il correspond un peu moins bien au cas bâtiment « au vent » quoique les différences restent très faibles... La meilleure approche du bâtiment « au vent » est le cas « CP4S0 ».

Avec un climat de Saint-Hubert, ces différences restent tout aussi faibles. En comparant les 2 cas « à l'abri du vent », les différences varient de 0.25% (0.589 kWh/m².an) au niveau non isolé à 1.69% (0.591 kWh/m².an) au niveau standard passif. Puis en comparant le bâtiment « au vent » avec « CP4S0 », les différences varient de 0.75% (1.819 kWh/m².an) au niveau non isolé à 4.02% (1.819 kWh/m².an) au niveau standard passif. Et enfin en comparant le bâtiment « au vent » avec « CP8 », les différences varient de 0.59% (1.440 kWh/m².an) au niveau non isolé à 3.09% (1.441 kWh/m².an) au niveau standard passif. Ici, bien que les 2 comparaisons avec le bâtiment « au vent » donnent des résultats forts proches, ceux provenant de CP8 sont cette fois plus proches. Cela peut s'expliquer par le fait qu'à Saint-Hubert, il y a plus de vent qu'à Uccle.

La si grande similitude entre les résultats issus directement de TAS et ceux issus des coefficients de pression venant de Fluent permet de considérer que TAS permet une approche valide et fiable. Aussi, pour la suite, et suite à l'intégration des résultats de simulation du microclimat urbain (venant de Fluent) dans les simulations thermiques (faite avec Tas), il apparaît que l'évaluation du vent faite par TAS pour un quartier périurbain est très bonne et proche des résultats obtenus avec les résultats venant de Fluent. Vu les temps et la complexité de l'approche par Fluent et vu l'excellente approche de TAS, nous envisageons de continuer avec uniquement l'approche de TAS.

5.3.5. Les types de ventilation

A partir d'un certain niveau d'isolation, le recours à une ventilation mécanique devient indispensable. Le standard passif ne pourrait être atteint sans l'emploi d'une ventilation double flux avec récupérateur de chaleur. Dès lors, la ventilation joue un rôle incontournable dans la gestion de l'énergie d'un bâtiment qu'il paraît primordial d'analyser. C'est pourquoi, l'étude s'est attardée sur 3 différents systèmes de ventilation : le système A, C et D avec récupérateur de chaleur. Le tableau qui suit développe les impacts des différents types de ventilation A, C et D (en %).

Tableau 67 : Impact des différents types de ventilation A, C et D (en %)

Différence de consommation entre :		A les vitesses 1 et 3 du système C	B les vitesses 1 et 3 du système D	C le système C et D en vitesse 1 ou impact du récupérateur de chaleur	D le système C et D en vitesse 3 ou impact du récupérateur de chaleur	E le système A et C (vitesse 1) ou impact d'une ventilation Système C	F le système A et C (vitesse 3) ou impact d'une ventilation Système C	G le système A et D (vitesse 1) ou impact d'une ventilation Système D avec récupérateur de chaleur	H le système A et D (vitesse 3) ou impact d'une ventilation Système D avec récupérateur de chaleur
Nappe - Fenouil 3	SA	30.56				26.93	4.97		
	BE	40.23				36.05	6.54		
	TBE	43.57	13.88	31.69	55.24	30.42	18.90	52.47	44.81
	SP	56.54	26.00	51.23	71.35	51.86	9.72	76.52	68.27
Nappe - Fenouil 7	SA	29.48				2.67	27.55		
	BE	42.29							
	TBE	52.84	20.82	43.83	66.55				
	SP	64.23	35.45	63.82	79.95				
Ruban - F3	SA	29.56				35.68	8.69		
	BE	39.29				46.02	11.07		
	TBE	47.67	16.62	36.78	60.33	54.58	13.20	71.29	65.56
	SP	55.43	25.06	49.69	70.08	61.80	14.29	80.78	74.35
Semi-mitoyen - Cité Chavée	SA	30.10				2.13	31.59		
	BE	49.95				3.70	51.80		
	TBE	51.99	20.19	42.74	65.55	3.72	53.78	40.52	25.48
	SP	62.51	34.99	62.61	78.44	5.22	64.46	60.55	39.32
Semi-mitoyen - Foyer Fontainois	SA	35.95				45.64	15.13		
	BE	52.87				63.48	22.50		
	TBE	60.37	25.78	51.46	74.08	70.83	26.39	85.84	80.92
	SP	68.68	42.11	69.85	83.69	77.28	27.46	93.15	88.17
Mixte - Ch-Gistoux	SA	31.87				37.16	7.75		
	BE	44.62				50.87	11.28		
	TBE	55.61	21.42	45.34	69.12	62.25	14.96	79.36	73.74
	SP	61.90	31.27	58.45	76.97	67.56	14.85	86.52	80.39

Remarquons que le cas Semi-mitoyen - Cité Chavée réagit un peu différemment. Cette petite habitation ouvrière est « surpeuplée » pour sa taille. Elle souffre davantage de surchauffe dû à l'ensemble de ses gains internes.

Plus un bâtiment est isolé, plus le passage d'un système de ventilation à un autre aura un impact important. Cependant en fonction de la morphologie du bâtiment, selon que les fenêtres soit grandes ou non et que les gens aèrent fréquemment ou non, le système A peut être plus intéressant que le système C vitesse 3 voire parfois même que le système C vitesse 1 (colonne E et F du tableau) mais le système A ne garantit pas un confort respiratoire régulier car il dépend entièrement de la gestion des habitants. Au sein du système C, l'usage de la vitesse 1 est clairement plus avantageux que celle de la vitesse 3. Cette différence des vitesses a d'ailleurs plus d'impact au niveau du système C qu'au niveau du système D grâce au récupérateur de chaleur.

L'intérêt d'une ventilation D avec récupérateur de chaleur est très clairement démontré (colonne G et H) où rien que l'ajout du récupérateur de chaleur permet une réduction des consommations pouvant aller jusqu'à des 83% avec une ventilation de vitesse 3 et jusqu'à 70% en vitesse 1. Le récupérateur de chaleur est très clairement incontournable.

Si l'étude du système A peut paraître étrange, elle reste du moins informative car il arrive que dans certain cas, les habitants bouchent les bouches de ventilation pour ne pas être dérangés par le flux d'air arrivant ou pour une autre raison quelconque. Il s'agit de cas envisageables si les personnes n'ont pas été préparées à une bonne gestion de la ventilation qui apporte normalement un plus au niveau du confort. Il n'est pas possible dans de bonnes conditions d'hygiène respiratoire d'atteindre le standard passif avec un système A (sans compter que la relance du chauffage n'est généralement pas prévue à cet effet et souvent, le chauffage se fait à base de la ventilation mécanique).

5.3.6. L'orientation du bâtiment

L'orientation du bâtiment est un concept phare de l'architecture bioclimatique. Il était donc important d'aborder ce concept dans les variations paramétrées.

En effet, l'approche bioclimatique développe le lien entre l'architecture et l'environnement auquel il appartient. De ce fait, le climat devient un élément critique dans la conception d'une architecture climatique. L'architecture essaiera entre autre de répondre à l'évolution de l'ensoleillement. Car en hiver, il faut pouvoir profiter des apports solaires tout en se protégeant du froid et, en été, il faut par contre se protéger du soleil et savoir ouvrir sa maison au vent [A. Liébard, A. De Herde, 2005]. L'orientation optimale de l'habitation par rapport au soleil, est celle qui optimise la variation de la hauteur solaire au cours de l'année rendant les apports solaires plus importants en hiver qu'en été. Le pourcentage d'ouverture des fenêtres sera un facteur important au niveau de l'exploitation de cette ressource. Il est essentiel de pouvoir évaluer le niveau de conception bioclimatique des bâtiments existants afin de les optimiser [A. Liébard, A. De Herde, 2005].

Cette étude a été réalisée sur le bâtiment Nappe, rue du Fenouil 3 où huit orientations différentes ont été testées. Cette approche consiste en la rotation par pas de 45° de cette maison sur elle-même, dans son quartier (impact des ombres voisines pris en compte), afin d'analyser l'impact de l'orientation d'une maison existante où un tel paramètre n'a pas été pris en considération lors de la conception. Il est intéressant de connaître le

pourcentage d'ouverture des façades avant de rentrer pleinement dans cette analyse. Ces données sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Tableau 68 : Pourcentage d'ouverture des façades et leur orientation

Façade	Orientation d'origine des façades	Surface d'ouverture [m²]	Pourcentage d'ouverture
Côté jardin (Living + cuisine + Ch 4)	SE	8.7	11.72%
Côté latéral (Living + Ch1 et 2)	NE	4.8	11.01%
Côté porte d'entrée (Hall+ Living)	NO	4.6	6.39%
Côté latéral (Cuisine + Bureau + Ch3 + SDB)	SO	3.8	8.81%

En reprenant le tableau de référence « Tableau 4 : Pourcentage de surface vitrée recommandé en fonction de l'orientation » Nous pouvons constater que la conception de ce bâtiment n'est pas optimisée. La seule surface correspondant aux surfaces recommandées est celle « Nord-est », les autres sont plus petites.

Le « côté jardin » est le plus ouvert mais proportionnellement, il est trop fermé ce qui diminue les gains solaires captables. Nous constatons donc que cette conception des années 80 ne s'est pas concentrée sur l'optimisation des gains solaires.

Les simulations révèlent une faible influence de l'orientation sur les consommations globales de la maison. Le Tableau 69 montre ce faible impact de l'orientation de la maison sur ses consommations globales puisqu'entre les deux orientations obtenant les consommations les plus extrêmes, la différence va de 0.71% à 2.90%. Plus le bâtiment est isolé, plus l'impact sera marqué.

Tableau 69 : Impact de l'orientation de la maison sur les consommations globales de la maison (en kWh/an)

Orientation côté jardin	Non isolé	3 cm d'isolation	6 cm d'isolation
Nord	28391.06	13157.10	9707.03
NE	28397.94	13158.62	9707.73
Est	28299.80	13030.59	9574.75
SE	28256.43	12965.91	9503.29
Sud	28197.48	12894.53	9426.57
SO	28258.83	12957.24	9489.67
Ouest	28310.27	13025.04	9564.30
NO	28388.12	13132.77	9678.43
Différence en kWh/an des 2 consommations les plus extrêmes (N et S)	-193.58	-262.57	-280.46
Différence en % des 2 consommations les plus extrêmes sur les 8	0.71%	2.01%	2.90%

Nous pouvons cependant nous intéresser à des pièces plus en particuliers afin d'analyser

d'éventuels impacts locaux (Tableau 70).

Tableau 70 : Impact local de l'orientation de la maison sur les consommations : différences en % des 2 consommations les plus extrêmes (sur les 8)

	Non isolé	3 cm d'isolation	6 cm d'isolation
Maison	0.71%	2.01%	2.90%
Living	3.46%	4.59%	5.37%
Cuisine	6.34%	9.20%	11.08%
Bureau	5.98%	8.00%	9.33%
WC	4.18%	5.21%	6.60%
Chambre 1	2.52%	5.08%	6.18%
Chambre 2	2.74%	4.60%	5.61%
Chambre 3	2.66%	5.78%	7.19%
Chambre 4	3.10%	5.34%	6.37%
Salle de bain	3.24%	5.90%	7.28%

Le living possède des ouvertures sur trois façades et présente des résultats peu significatifs ou du moins très estompés. En effet le fait de se trouver sur trois façades va atténuer les extrêmes et faire ressortir un impact peut important. Cependant, les ouvertures sur trois façades notamment celles au SE et au NO (façade opposée) permettent une ventilation naturelle ce qui est très utile en été. La cuisine obtient l'impact le plus important avec 11% pour le cas avec 6cm d'isolation. Cette pièce possède des gains internes très ponctuels et à l'avantage de posséder deux fenêtres sur deux façades adjacentes. Cela a pour effet de concentrer les gains solaires ponctuellement et, lors de certaines expositions, ils seront assez importants et puis, beaucoup plus faibles ce qui augmente l'écart entre les résultats des deux consommations extrêmes. Le cas du bureau est similaire. Il faut savoir que ces apports de chaleur ont lieu principalement en journée lorsque les occupants ne sont pas là et où la demande de chaleur est diminuée.

Le Tableau 71 reprend ces gains solaires et révèlent que ceux-ci sont les plus bénéfiques lorsque la pièce est tournée vers le sud-ouest et sont le moins efficace lorsqu'elle est orientée vers le nord-est. Cela va dans le même sens que les théories déjà établies à ce sujet.

Tableau 71 : Impact des gains solaires par pièce

Pièce	MAX [kWh/an]	MAX [kWh/m².an]	Orientation de la pièce	MIN [kWh/an]	Orientation de la pièce	Différence en	
						kWh/an	%
Maison	6193.69	33.7	S	5377.83	NE	815.86	13.17%
Living	2406.68	51.13	O (S et E)	2028.66	NE (NO et SO)	378.02	15.71%
Cuisine	1232.55	60.82	S et O	826.30	NE	406.25	32.96%
Bureau	521.24	45.58	SO	278.87	NE	242.38	46.50%
Chambre 1	399.34	22.33	SO	233.95	NE	165.39	41.42%

Chambre 2	380.95	23.57	SO	243.39	NE	137.57	36.11%
Chambre 3	392.25	24.76	SO	233.73	NE	158.51	40.41%
Chambre 4	464.78	35.68	SO	298.55	N	166.24	35.77%
Salle de bain	399.80	29.20	O	241.18	NE	158.63	39.68%

Le Figure 42 montre l'impact du choix de l'orientation pour le jardin sur la consommation. A cette échelle les variations dues à l'orientation sont très peu visibles. L'impact de l'isolation l'emporte et cela d'autant plus que cette maison n'a pas été étudiée d'un point de vue bioclimatique. Il pourrait être intéressant de faire cette même étude sur cette maison dans un espace non bâti car les résultats sont très orientés en fonction de l'implantation et des ouvertures de ce cas.

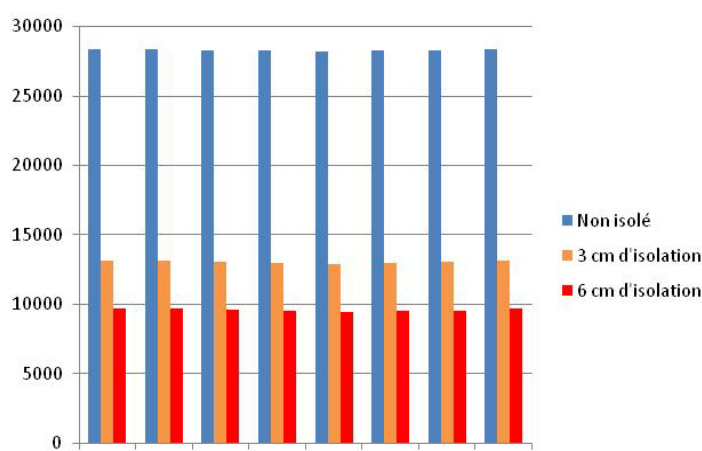


Figure 42 : Consommation de la maison [kWh/an] en fonction de l'orientation du jardin

5.3.7. L'impact d'une cave

Il s'agit ici d'une variation étudiant l'intérêt ou non d'une cave et ce, pour les 7 niveaux d'isolation étudiés. Cette analyse est faite pour le cas Nappe - Fenouil 3. Les résultats ont montré qu'il y avait peu de différence entre les deux cas comme le rappelle le tableau ci-dessous. Une si petite différence en terme de kWh/m².an n'est pas assez significative pour tirer des conclusions générales car à ce niveau, la différence de composition du sol risque de faire pencher la balance selon que le sol soit plus ou moins argileux ou sablonneux ou encore avec une plus ou moins grande teneur en eau.

Tableau 72 : Différence de demande de chaleur (en % et en kWh/m².an) entre le cas Nappe-Fenouil 3 avec et sans cave.

Différence cave ou pas cave entre les cas correspondant :		NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
à la "réalité" (Th 20-16°C - ventilation vit 1)	%	4.20%	3.38%	2.53%	2.14%	2.83%	26.66%	0.55%
	kWh/m².an	7.90	3.37	2.01	0.95	0.83	4.54	0.04
à la norme (Th 20°C - ventilation vit 3)	%	7.07%	4.49%	2.73%	2.26%	2.63%	23.14%	0.36%
	kWh/m².an	18.30	5.71	2.66	1.82	1.55	5.22	0.04

Cependant, comme l'illustre la figure ci-dessous, un renversement de situation est observable entre les niveaux BE et TBE. Avant ce changement, les cas possédant une cave sont plus intéressants énergétiquement (de peu) que les cas sans cave. Cela grâce à un espace d'air entre le sol et le bâtiment servant « d'isolant ». Lorsque le bâtiment devient beaucoup plus isolé, la différence n'est quasi plus visible.

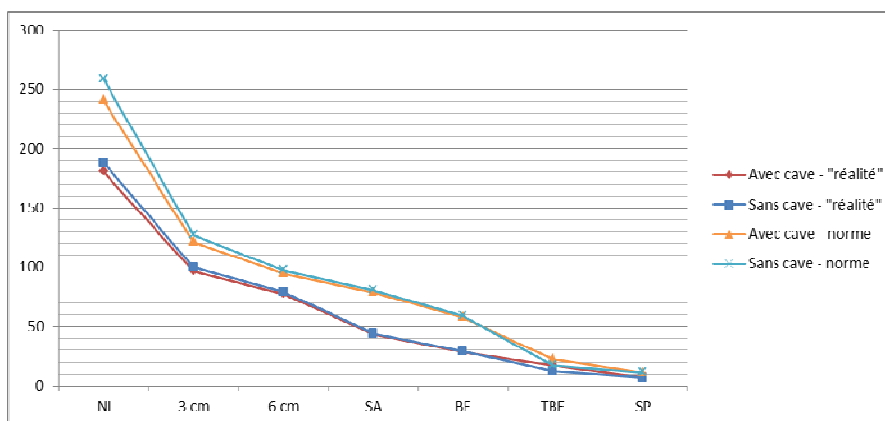


Figure 43 : Impact d'une cave : demande de chaleur en kWh/m².an en fonction de 7 niveaux d'isolation différents pour deux cas correspondant aux exigences de modélisation de la norme (Th 20°C - ventilation vit 3) et deux cas correspondant davantage à une utilisation « réelle » (Th 20-16°C - ventilation vit 1)

5.3.8. Mur creux ou mur plein ?

Les murs wallons sont principalement construits en brique. Ils sont donc garant d'une certaine inertie. Les murs plus anciens sont pleins et les plus récents sont creux (voir premier rapport). Nous avons tenté d'analyser cet effet sur deux cas représentatifs d'un bâti plus ancien à savoir les deux cas Mixte (Chaumont-Gistoux et Bousval). (Rappelons que le mur plein analysé est un mur en brique de 32 cm.)

Les résultats des simulations ont indiqué, sur base des demandes de chaleur, que le mur creux est énergétiquement plus intéressant que le mur plein (voir résultats plus haut). Le tableau ci-dessous, révèle que la différence entre ces deux types de mur est faible, de l'ordre de 4% à 4,5%, quand le mur n'est pas isolé. Cet impact est moins visible, plus le bâtiment devient isolé. En effet, ces deux murs sont assez « semblables » si ils sont comparés à des murs en ossatures bois, par exemple.

Tableau 73 : Différence des demandes de chaleur entre des murs pleins et des murs creux en fonction de deux types de thermostat

	Chaumont-Gistoux				Bousval			
	NI	3 cm	6 cm	SA	NI	3 cm	6 cm	SA
Th 20-16°C								
%	4.16%	1.59%	0.83%	0.70%	4.54%	1.83%	0.97%	0.84%
kWh/m².an	8.03	1.91	0.83	0.55	7.04	1.69	0.72	0.47
Th 20°C								
%	4.45%	1.98%	1.08%	0.87%	4.55%	2.37%	1.47%	1.40%
kWh/m².an	11.12	2.91	1.28	0.78	9.58	2.91	1.42	0.99

Une étude récente [Massart C., 2010] analysant l'impact de l'inertie sur les besoins nets de chauffage, souligne qu'une inertie thermique importante entraîne une faible diminution du besoin net de chauffage et que cette inertie permet une régulation plus facile et plus économe du système de chauffage. Cette étude a analysé des murs massifs : « lourd » et « léger » en comparaison à des murs à ossature bois : « lourde » et « légère » pour des maisons basse énergie et passive. Il s'agit ici de cas plus extrême et très ciblé puisqu'il se concentre essentiellement sur deux niveaux d'isolation. Mais on retrouve la même logique ici : le mur creux possède une inertie plus importante car la densité des blocs de béton est plus grande densité que celle de la brique.

5.3.9. L'impact d'une implantation face à une forêt

Cette variation va permettre de se rendre compte de l'impact d'un écran, ici végétal, sur les demandes de chaleur d'un bâtiment. Les simulations ont été réalisées avec le cas Ruban qui présentait ce cas de figure comme expliqué précédemment dans le texte. Pour les résultats chiffrés, il faut se référer à la partie reprenant les résultats des simulations. L'écran végétal ou autre type d'écran n'apparaît pas comme étant favorable. En effet les demandes de chauffages ont augmentée bien que peu significativement surtout lorsqu'on observe les différences en terme de kWh/m².an reprise dans le tableau ci-dessous. Il faut cependant noté que l'écran est placé dans une orientation SO mais, la maison est peu ouverte vers le SO. L'impact diminue plus le niveau d'isolation augmente mais il reste très faible.

Tableau 74 : Comparaison des simulations : RUBAN avec forêt et RUBAN sans forêt via les différences de demande de chaleur (en % et en kWh/m².an)

Différence cave ou pas cave entre les cas correspondant :		NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
à la "réalité" (Th 20-16°C	%	6.02%	9.63%	11.35%	3.43%	4.30%	6.29%	6.52%
- ventilation vit 1)	kWh/m².an	11.63	10.49	10.19	1.02	0.91	0.84	0.51
à la norme (Th 20°C -	%	5.22%	8.83%	10.68%	1.66%	2.11%	5.25%	5.12%
ventilation vit 3)	kWh/m².an	13.32	11.95	11.57	1.35	1.25	0.96	0.60

Même si une forêt en hiver peut difficilement être représentée par un vide total, l'absence de feuille en hiver favorise l'augmentation des gains solaires. Et les écrans totaux et permanents sont des obstacles à ces gains solaires.

5.3.10. Analyse de l'influence des modes d'occupation sur la demande de chauffage de d'un bâtiment

L'intérêt de cette étude est d'analyser au niveau des consommations de chauffage, l'impact des interactions entre différents modes d'occupation et différents niveaux d'isolation. Delà, découlera l'étude de l'intérêt d'adapter ou non la taille de la maison en fonction de l'évolution de la taille de la famille et l'analyse du bilan des performances du bâtiment sur sa durée de vie en fonction des différents modes d'occupation qui s'y sont succédé. Cette étude s'est basée sur la maison du quartier Nappe-Fenouil 3.

Chaque mode d'occupation induit des gains internes différents. Plus le bâtiment deviendra performant, plus les conditions internes auront de l'influence dans l'évaluation de la consommation du bâtiment. Afin qu'ils soient représentatifs de la réalité, ils seront établis selon un référent [De Herde A., 1994]. Leur variation en fonction du mode est visible dans les tableaux du chapitre « Choix des paramètres » dans la définition des conditions internes. Les résultats des 11 cas ont été présentés avec tous les résultats du cas Nappe-Fenouil 3.

Ces 11 cas simulés permettent donc d'évaluer les consommations de chauffage induites par différents mode d'occupations d'une maison durant sa vie. Pour chaque cas, les 7 niveaux d'isolation thermique sont envisagés. L'analyse se développera en 4 étapes :

1. L'analyse de 2 cas représentant une famille avec enfants (cas 1.1 and cas 2.2),
2. L'analyse de 5 cas représentant un couple de personnes actives sans enfant (cas 3.3 à 3.7),
3. L'analyse de 2 cas représentant un couple de personnes retraitées (cas 4.8 et 4.9), et
4. L'analyse de 3 cas extrêmes représentant 3 des 4 modes (les cas 1.1, 3.4 et 4.9).

Modes d'occupation 1 et 2 : couple avec enfants

Le Tableau 46 reprenant l'ensemble des résultats pour les 11 cas, révèle que le cas 1.1 est moins énergivore que cas 2.2 pour tous les niveaux d'isolations sauf pour le cas passif où la tendance s'inverse. Proportionnellement, c'est à ce niveau passif que la plus grande différence entre les deux cas, de demande de chauffage, est atteinte avec 2.28 kWh/m².an (28.73%). Pour les autres niveaux d'isolation, la différence entre les deux cas varie entre 0.75% jusqu'à 8.28% (de 0.45 à 14.98 kWh/m².an). Ce tableau révèle les énormes écarts entre les différents niveaux d'isolation et donc les réductions de consommations possibles lors d'une rénovation. Les plus grandes réductions de consommation qu'entraîne ce passage d'un niveau d'isolation à un autre niveau pour les deux cas considérés sont marquées en atteignant le standard passif. De manière générale, tout passage au niveau d'isolation supérieur est très clairement intéressant et d'impact plus important que celui de privilégier le mode d'occupation cas 1.1 au cas 2.2.

Modes d'occupation 3 : couple actif sans enfant

En observant les demandes de chauffages divisées par la surface chauffée Tableau 46 (Partie B), on peut constater que 4 des 5 cas correspondant au troisième mode d'occupation ne respectent pas le standard passif. Mais si on regarde les demandes de chauffage de ces mêmes cas (cas 3.3 à 3.7) mais cette fois, divisées par la surface totale de la maison (partie A du tableau), alors le standard passif est bien respecté. Les valeurs des cas 3.6 et 3.7 sont limites d'autant plus que ces cas sont considérés à la vitesse 1 du taux de ventilation. La vitesse 3, correspondant à la norme, ne remplit pas les exigences du passif car les consommations atteignent respectivement 19.55 kWh/m².an et 18.15 kWh/m².an. Rappelons que cette vitesse 3 est utilisée occasionnellement dans la pratique. Le standard basse énergie n'est pas atteint pour les cas 3.5 et 3.7 (partie B du tableau) si

on considère la surface occupée mais ce standard sera atteint quand on considère la surface totale qui a servi au dimensionnement (partie A). A la vitesse 3 correspondant à la norme le cas 3.6, au basse énergie, atteint 72.86 kWh/m²an !
Il en va de même pour le standard très basse énergie...

Les valeurs des consommations varient beaucoup selon les différents modes d'occupation. Selon la partie A du tableau, les deux cas qui s'opposent le plus sont le cas 3.5 et le cas 3.6 où leurs différences varient de 98.81 kWh/m².an pour le cas non isolé (42.77%) à 3.17 kWh/m².an pour le standard passif (19.93%). La moyenne de leurs différences parmi les niveaux d'isolation vaut 30.10%. De manière générale, plus le bâtiment est isolé, plus la différence entre les cas diminue. L'impact entre les comportements devient moins important et moins marqué. Selon la partie B du tableau, les deux cas 3.3 et 3.7 s'opposent. La différence entre les demandes de chauffages varie entre 153.18 kWh/m².an pour le cas non isolé et 15.15 kWh/m².an pour le standard passif. La moyenne de leurs différences vaut 46.89%. Cela signifie qu'un couple vivant dans une habitation avec 3cm d'isolation et qui ont un comportement proche du cas 3.7 consomment autant que des gens qui vivent dans une maison non isolée mais qui ont un comportement plus attentif et mieux géré. En général, si le bâtiment est très bien isolé, l'impact du comportement sera de moins en moins marqué et, par rapport aux mètres carrés chauffés, il peut être proportionnellement plus élevé que l'impact du passage d'un niveau d'isolation vers un meilleur. Une très bonne isolation diminuera les conséquences de la négligence des gens ou de leur comportement énergivore mais une différence de 30% reste énorme et est donc facilement améliorable !

Les comportements plus négligeant (comme les cas 3.6 et 3.7) mais garantissant un confort à tout instant, sont fort pratique lorsque les habitants n'ont pas d'horaire très précis. Mais ces comportements peuvent engendrer une consommation allant du simple à presque le double. Ceci souligne l'équilibre très faible entre le confort optimal et la bonne gestion de l'énergie. Si les personnes ont des horaires très variés, il est assez intéressant de pouvoir commander le système de chauffage et de ventilation à distance ce qui permet de déclencher la relance de ceux-ci. Car le simple fait d'abaisser les températures la journée de 20°C à 16°C peut apporter une économie de plus ou moins 10% voire plus si on compare les cas 3.3 et 3.4.

Une très bonne isolation est donc source de confort ! Car elle permettra de réduire les conséquences de la négligence de personnes ou de leurs comportements énergivores. Mais la réduction des consommations reste et est donc facilement améliorable!

Modes d'occupation 4 : couple de retraités peu actif

Le mode d'occupation relatif au « couple de retraités » peu actif et restant souvent à la maison durant la journée est plus énergivore car la maison est plus souvent occupée ce qui implique plus de chauffage, de lumière, de temps de cuissons,... De plus, le confort thermique est la base même de la notion du confort des ménages âgés. Ce mode d'occupation réclame un grand besoin de chaleur et qui est non négociable. Notons que les demandes de chaleur annoncées par les cas 4.8 et 4.9 sont faibles par rapport aux

consommations réelles générées par les comportements de certains ménages de personnes âgées représentée par les cas 4.10 et 4.11. Dans certains ménages, la température de l'air intérieur est maintenue à, par exemple, 26 °C toute l'année au cours du jour et de la nuit.

Le fait de se cantonner dans une partie de la maison, ici le rez-de-chaussée, est énergétiquement plus intéressant. Selon la partie A du tableau, si la maison n'est pas isolée, la différence entre les cas 4.8 (RDC + Etage partiellement occupé) et 4.9 (où seul le RDC est occupé) vaut 39.28 kWh/(m².an) (18.29%) (et 37.66 kWh/(m².an) (17.51%) entre les cas 4.10 et 4.11). Mais cette différence est seulement de 0.38 kWh/m².an (2.82%) au niveau du standard passif (et de 0.66kWh/m².an (3.6%) entre les cas 4.10 et 4.11).

Selon la partie B du tableau, la moyenne des différences entre ces 2 cas est d'environ 21% (mais variant entre 6.83 and 47.16 kWh/m².an). Mais ces 2 cas ne se basent pas sur la même surface et donc le plus consommateur en terme de kWh/m².an est le cas 4.8 qui donne l'impression de consommer moins que le cas 4.9. De nouveau, l'impact du mode d'occupation en terme de kWh/m².an diminue plus le bâtiment est isolé.

Le passage à un niveau supérieur d'isolation du bâtiment représente toujours une bonne réduction des consommations.

Comparaison entre 3 modes d'occupation opposés: synthèses

La comparaison entre les demandes de chauffages de 3 modes d'occupation opposés semble incontournable ! Les 3 cas sélectionnés sont les cas 1.1 (un couple actif avec des enfants travaillant à l'extérieur durant la journée pendant que leurs trois enfants vont à l'école), 3.4 (un couple actif sans enfants travaillant à l'extérieur durant la journée) et 4.9 (un couple de retraités, pas très actifs, restant beaucoup de leur temps chez eux et avec une température de confort élevée).

Plus le bâtiment est isolé, plus le mode d'occupation se fera ressentir. La comparaison des cas 1.1 et 3.4 (selon la partie A du tableau) illustre cela car la différence entre les demande de chaleur vont de 5.24% (9.44 kWh/m².an) pour une enveloppe non isolée à une différence de 45.42% (6.03 kWh/m².an) pour le standard passif (Voir Tableau 75). Les différences dans les demande de chaleur entre les deux modes d'occupation avec couple sans enfants (cas 3.4 et 4.9) est relativement faible puisqu'elle est en moyenne de 5.74%. Comme l'illustre la Figure 44, lorsque le bâtiment n'est pas isolé, le mode d'occupation le plus énergivore est celui de la famille avec les trois enfants. Mais par contre dès les premiers centimètres d'isolant jusqu'au niveau passif, ce mode d'occupation avec les enfants sera le plus économe au niveau du chauffage par rapport aux 2 autres. Ceci révèle également l'importance des gains internes.

Tableau 75 : Différence (en %) entre les 3 différents cas extrêmes sur base des résultats du Tableau 46.

	Sur base de kWh/m ² (où les m ² = 182 m ²)			Sur base kWh/m ² (où les m ² = espace chauffée)		
	Différence entre 1.1 et 3.4	Différence entre 1.1 et 4.9	Différence entre 3.4 et 4.9	Différence entre 1.1 et 3.4	Différence entre 1.1 et 4.9	Différence entre 3.4 et 4.9
NI	5.24	2.61	2.70	20.48	48.87	35.70
3 cm	4.83	13.85	9.47	28.29	57.10	40.18
6 cm	7.02	16.10	9.76	29.93	58.22	40.37
SA	8.30	16.88	9.36	30.90	58.61	40.10
BE	21.36	23.07	2.18	40.74	61.69	35.36
TBE	7.86	9.94	2.26	70.46	80.92	35.41
Passif	45.42	44.90	0.94	58.87	72.56	33.29

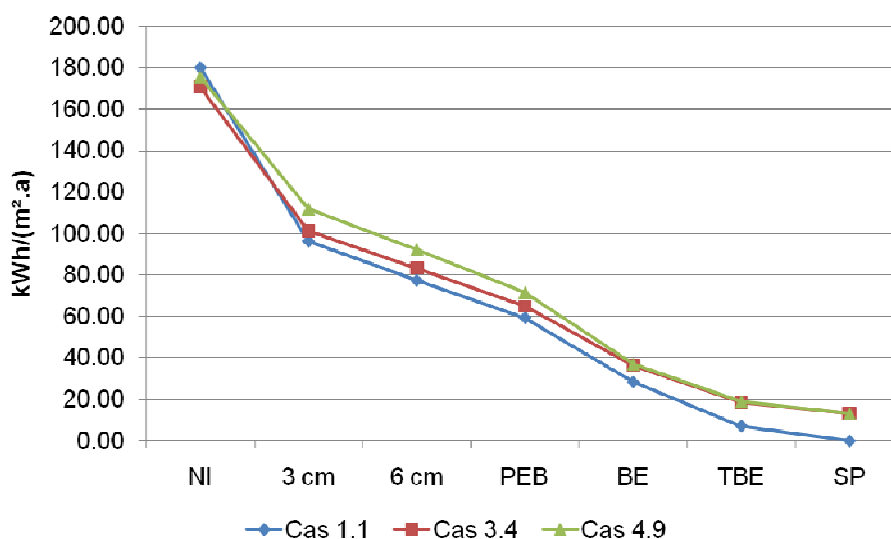


Figure 44 : Demande de chaleur (kWh/m².an) basée sur 7 niveau d'isolation testé pour les cas 1.1, 3.4 et 4.9 (dans cette figure, la demande de chauffage est divisée par la surface totale de la maison (182m²)).

Si on considère à présent la partie B du tableau (où la demande de chaleur est divisée par la surface occupée), là, les écarts entre les 3 cas étudiés sont plus importants. La moyenne des différences entre le cas 1.1 et le cas 3.4 (variant de 10.38 à 46.39 kWh/m².an) et entre le cas 3.4 et le cas 4.9 (variant de 8.79 à 125.76 kWh/m².an) vaut 36%. Le cas 1.1 reste le cas le plus intéressant à tout niveau d'isolation grâce à la plus grande surface de chauffe, aux plus nombreux gains internes et à sa meilleure gestion du système de chauffage.

Les différences entre les cas augmentent avec le niveau d'isolation même si la différence de demande de chaleur entre les cas 3.4 et 4.9 et le cas 1.1 reste plus marquée si la demande de chaleur est divisée par la surface occupée comme l'illustre la Figure 45.

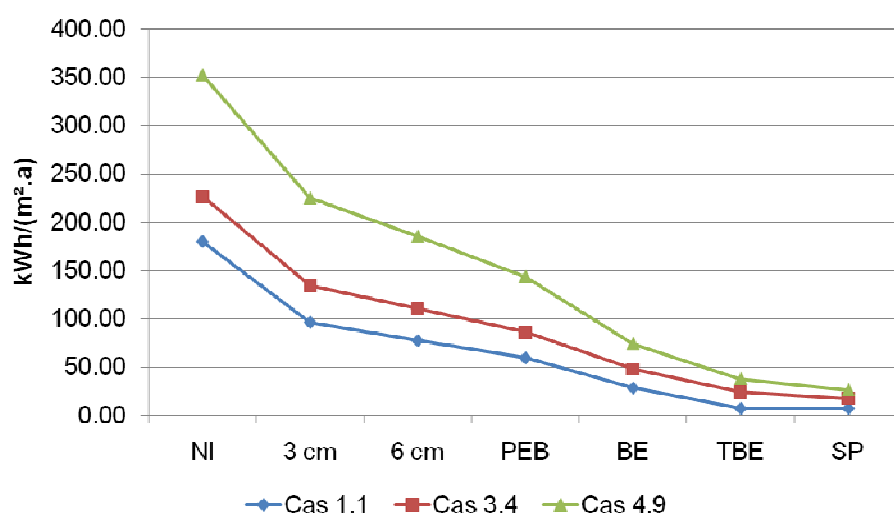


Figure 45 : Demande de chaleur (kWh/m².an) basée sur 7 niveau d'isolation testé pour les cas 1.1, 3.4 et 4.9 (dans cette figure, la demande de chauffage est divisée par la surface occupée).

A titre d'illustration, les résultats peuvent se comparer en considérant les demandes de chaleur par habitant. Le Tableau 76 reprend les valeurs du Tableau 46 divisées par le nombre d'habitant pour les cas considérés ici.

Tableau 76 : Résultat (en kWh/(m².habitant)) des demandes de chaleur du Tableau 46 (en kWh/m²) divisées par le nombre d'habitant.

	A.) kWh/(m².hab) (les m² = 182 m²)			B.) kWh/(m².hab) (les m² = m² chauffé)		
	Cas 1.1	Case 3.4	Case 4.9	Cas 1.1	Case 3.4	Case 4.9
nombre d'hab.	5	2	2	5	2	2
NI	36.03	85.35	87.71	36.03	113.26	176.14
3 cm	19.29	50.68	55.98	19.29	67.25	112.41
6 cm	15.50	41.67	46.18	15.50	55.30	92.74
SA	11.91	32.46	35.81	11.91	43.07	71.91
BE	5.69	18.09	18.50	5.69	24.01	37.14
TBE	3.41	9.24	9.46	3.41	12.27	18.99
Passif	1.45	6.64	6.58	1.45	8.81	13.21

Discussion

Ces résultats permettent à présent de discuter l'impact de ces différents modes d'occupation tout au long de la vie de la maison (ou durant son cycle de vie). En effet, les différents modes d'occupations étudiés sont susceptibles d'exister au cours de la vie d'une habitation où ils vont s'y succéder au cours de l'évolution d'une ou de plusieurs familles.

Afin d'évaluer l'impact du mode d'occupation sur la durée de vie de la maison, 4 hypothèses d'occupation de la maison étudiées ont été établies pour une période de 100 ans. Le Tableau 77 reprend les 4 hypothèses (H1, H2, H3, H4) d'occupation où sont repris le

total d'année de vie de la maison où elle aura contenu un couple avec des enfants (Case 1.1.), un couple actif (Case 3.4) et/ou un couple de retraités (Case 4.9). Par exemple, dans l'hypothèse H1, la maison a été occupée durant 45 ans en tout par une famille avec enfant, durant 30 ans en tout par un couple actif, sans enfants et durant 25 ans en tout par un couple de retraité.

Tableau 77 : Années d'occupation pour chaque mode d'occupation pour un cycle de vie d'une maison de 100 ans : 4 hypothèses

	H1	H2	H3	H4
Case 1.1	45	25	60	25
Case 3.4	30	50	25	55
Case 4.9	25	25	15	20
Total ou durée de vie de la maison	100	100	100	100

Le Tableau 78 résume les demandes de chaleur moyennes calculées pour les 4 scénarios d'occupation présenté dans le Tableau 77 et divisées par la surface chauffée. Dans deux cas (H2 et H4), l'exigence du standard passif n'est pas respectée. Plus le bâtiment est isolé, plus la différence de demande de chauffage en % augmente entre les deux cas pour atteindre au standard passif, une différence de 26.18% (4.51 kWh/(m².year)) entre H2 et H3 qui sont les deux cas extrême.

Tableau 78 : Moyenne des demandes de chauffage (en kWh/m² an) d'une habitation sur sa vie (100 ans) en fonction des différentes hypothèses de son occupation présentée au Tableau 77.

	H1	H2	H3	H4
NI	237.09	246.37	217.55	240.08
3 cm	139.96	147.57	125.22	143.05
6cm	114.43	121.05	101.97	117.30
SA	88.59	93.91	78.83	91.03
BE	45.78	49.70	40.22	48.38
TBE	24.52	26.02	22.05	25.35
Passif	15.15	17.23	12.72	16.79

Si la taille des familles évolue au cours du temps, la taille des logements et leurs modes d'occupation pourraient aussi évoluer ou s'adapter. Cette stratégie d'adaptation permettrait de réduire les consommations de chauffage au cours du cycle de vie du bâtiment. Le but pourrait être de maximiser l'occupation de la maison en revenant d'une certaine manière à un mode approchant le mode « couple avec enfants ». Mais cela peut entraîner en contre partie des travaux conséquent d'adaptation des lieux (cuisine supplémentaire, entrées indépendantes, etc.). L'isolation et les possibilités d'amélioration thermique du bâtiment doivent être prises en compte pour évaluer la meilleure option.

Conclusion

Le mode d'occupation d'une maison dépend du nombre d'habitant, de l'âge de ces personnes, de leurs activités, de leur exigence du confort thermique et de la gestion de ce confort par leurs limites (thermiques, médicales, financières,...).

Ces analyses ont mis en évidence l'importance des gains internes correspondants aux différents modes d'occupation, leur influence sur les demandes de chaleur pour les niveaux étudiés d'isolation et de l'importance de prendre en compte plusieurs types de ménages et des modes d'occupation dans les études thermiques.

Cette étude nous a permis de mettre en évidence que, plus le bâtiment est isolé, plus les consommations de chauffage sont proportionnellement influencées par le mode de vie notamment à travers les gains internes, même si l'impact en termes de kWh diminue. Ces résultats soulignent que le nombre d'habitants et de leur présence dans la maison permet de réduire les demandes de chauffage. Toutefois, l'isolation est primordiale, et augmenter l'isolation de la maison donne toujours de meilleurs résultats qu'une simple adaptation du mode d'occupation.

En même temps, plus le bâtiment est isolé et plus le nombre d'habitant se révèle intéressant dans la balance énergétique. Et pour le bâtiment étudié, le mode qui présente les plus basses demandes de chauffage est le couple actif avec enfants parce que le nombre d'habitant est beaucoup plus adapté à la taille de la maison. Ceci pousse à se focaliser sur les performances thermiques du bâtiment et cela d'autant plus qu'on ne peut pas être certain de maîtriser le mode d'occupation des futurs habitants. Car même en faisant le bilan des consommations sur la durée de vie du bâtiment, certains modes d'occupation peuvent faire pencher la balance de sorte que les exigences de départ ne soient pas atteintes (dépassement du critère déterminant du standard passif ou autres). L'équilibre entre un confort optimal et une bonne gestion de l'énergie est très faible et, en particulier si les gens ont des horaires variables. Il est donc très intéressant d'avoir la possibilité de commander à distance le système de chauffage et/ou de ventilation afin de déclencher la relance du chauffage.

Cependant, aux vues des différences qu'il y a entre les modes d'occupation, la conscientisation des gens quant à leur mode de vie est essentielle pour améliorer facilement et rapidement les bilans énergétiques des maisons et des familles. L'amélioration de l'enveloppe thermique est une autre garantie mais moins facilement applicable et généralisable car elle prend plus de temps et demande des moyens financiers plus ou moins importants pour être réalisée.

5.3.11. Les niveaux d'isolation du bâtiment

L'étude des différents niveaux d'isolation est la plus importante dans cette caractérisation des bâtiments car elle est à la base de l'analyse du bâti wallon et des potentiels de rénovation de celui-ci. Ces 7 niveaux sont abordés dans quasi toutes les discussions des variations paramétrées qui ont précédées illustrant l'intérêt des bâtiments les plus performants énergétiquement.

Les principales comparaisons et analyses ont été directement placées à la suite des tableaux reprenant les résultats des simulations de demandes de chaleur permettant de cette manière de comparer plus facilement les chiffres et les figures.

Les résultats abordent bien souvent les demandes de chauffages or il faudrait également tenir compte des consommations de chauffage. Cet impact serait en tout logique, plus important, plus les bâtiments sont peu performants énergétiquement, en considérant que le système de chauffage n'a pas été ou peu rénové. Ce qui augmenterait les écarts de performances entre les niveaux.

Il serait très intéressant de comparer les bâtiments entre eux bien que cette tâche soit assez délicate. En effet, les résultats sont présentés en fonction de leur surface énergétique qui ne représente pas toujours la surface habitée. Cela est dû à la conception dans le PHPP qui, pour atteindre des standards avec des quantités normales d'épaisseur d'isolant, a demandé d'augmenter la surface énergétique ce qui est possible en incluant la surface des combles et/ou caves à raison de 60% pour autant qu'il y ait une hauteur de min 2m. De plus ces maisons ont toutes des morphologies et des orientations assez différentes ce qui les rend peu comparable... Il est donc plus intéressant de laisser le soin, à chaque variation paramétrées, de marquer les différences entre ces 7 niveaux d'isolation et les différents bâtiments. Afin, ici, d'établir un lien avec le bâti actuel wallon.

L'étude de C. Kyndt [C. Kint, 2008] donne un bon aperçu de la situation énergétique des bâtiments en Région wallonne malgré qu'il soit difficile de discerner dans les chiffres, ceux concernant la ville et ceux concernant le périurbain et le rural. Il y a, donc en tout, 64.10% de bâtiments n'étant pas isolé, 7% ayant une isolation partielle et 28.90% ayant une isolation totale. Les bâtiments possédant de l'isolation (soit 35.90%) peuvent être répartis comme suit :

- 18% avec 1-3cm
- 38% avec 4-6cm
- 16% avec 7-10 cm
- 28% inconnu

En adaptant ces chiffres à l'étude, il ressort cette simplification-ci où les inconnus ont été placés avec les 3 cm :

- 46% correspondant au 3cm (= les 18% + 28% des inconnus) soit 16.51% des bâtiments au total en Région wallonne
- 38% correspondant au 6cm soit 13.64% des bâtiments au total en RW
- 16% correspondant au SA soit 5.74% des bâtiments au total en RW

Notons que $16.51\% + 13.64\% + 5.74\%$ vaut bien 35.90% . La répartition des différents types de bâtis sont repris dans le tableau ci-dessous permettant de situer pour chaque période (depuis avant 1919 à après 1990), les types de bâtiments, les types de murs de cette période, leurs niveaux d'isolation et les bâtiments de l'étude qui s'en rapprochent le plus.

Le tableau se base sur un climat d'Uccle avec le « Thermostat 20-16°C » et le SA possède une ventilation système A. Il révèle une demande de chaleur moyenne par bâtiment de $139.72 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$. Cette valeur est une première approximation qui devra être affinée par la suite pour mieux cibler les enjeux des quartiers périurbains. Evidemment ce tableau tient compte des cas simulés qui ne sont pas représentatifs de l'ensemble du stock wallon au niveau de leurs conditions internes. En effet, ils ont été modélisés et donc simulés en les considérant comme « remplis ». De plus, les consignes d'utilisation ne tiennent pas compte des différents modes d'occupation, ni des rendements des systèmes de chauffages. Mais la consigne thermostatique peut être considérée comme un moyenne (thermostat 20-16°C). Idéalement, il faudrait faire intervenir les résultats issus des simulations sur le mode d'occupation mais il est assez difficile d'évaluer les modes d'occupations et les comportements des gens.

Le tableau qui suit (Tableau 80) propose un scénario de rénovation du bâti wallon plutôt optimiste qui annonce lui une moyenne totale et pondérée de $96.01 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ comme demande de chaleur moyenne d'un bâtiment wallon.

Cependant, si on considère un rendement moyen des systèmes de chauffage de 70% (valeur assez difficile à établir), avant rénovation, la consommation moyenne par bâtiment serait de $199.6 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$. Après rénovation, un rendement moyen des systèmes de chauffage de 80% pourrait être considéré ce qui amènerait à une consommation moyenne par bâtiment de $120.01 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$. Il s'agit d'une première approche, d'un aperçu d'une méthode qui sera affinée au cours de la phase IV.

Tableau 79 : Bilan des demandes de chaleur du bâti wallon

Année de construction	% de ce type de bâti en RW	Type de mur [C. Kint, 2008]	% de chaque niveau d'isolation parmi cette catégorie de bâti				Maison étudiée intervenant	% d'intervention de ces maisons	Moyenne pondérée par période	Moyenne totale p/r aux bâtis
			NI	3cm	6cm	SA			kWh/m².an	kWh/m².an
< 1919	29.60%	Murs massifs souvent très épais	90%	10%			Chaumont-Gistoux - MUR PLEIN	100%	185.77	54.99
1919-1945	19.70%	Murs pleins en briques	40%	10%			Chaumont-Gistoux - MUR PLEIN	50%	48.27	9.51
		Murs creux «1 ^{ère} génération»	50%				Citée Chavée	50%	47.24	9.31
1946-1970	25.80%	Mur creux «2 ^{ème} génération»	70%	20%	10%		Chaumont-Gistoux	100%	163.02	42.06
1971-1980	11.20%	Mur creux «2 ^{ème} génération»	30%	40%	30%		Foyer Fontainois		127.41	14.27
1981-1990	5.60%	Murs creux isolés		30%	60%	10%	Fenouil 3	25%	79.60	4.46
							Fenouil 7	50%		
							Ruban	25%		
> 1990	8.10%	Murs creux isolés			40%	60%	Fenouil 3	25%	63.30	5.13
							Fenouil 7	50%		
							Ruban	25%		
% de bâtiments isolés par niveau d'isolation			65.79%	16.25%	12.54%	5.42%				
Demande de chaleur totale pour une habitation en RW (en kWh/m².an) :										139.72

Tableau 80 : Scénario de rénovation du bâti wallon : conséquence sur les demandes de chaleur

Année de construction	% de ce type de bâti en RW	Type de mur [C. Kint, 2008]	% de chaque niveau d'isolation parmi cette catégorie de bâti				Maison étudiée intervenant	% d'intervention de ces maisons	Moyenne pondérée par période	Moyenne totale p/r aux bâtis
			NI	3cm	6cm	SA			kWh/m².an	kWh/m².an
< 1919	29.60%	Murs massifs souvent très épais	20%	30%		50%	Chaumont-Gistoux - MUR PLEIN	100%	113.71	33.66
1919-1945	19.70%	Murs pleins en briques	20%			30%	Chaumont-Gistoux - MUR PLEIN	50%	31.04	6.12
		Murs creux «1 ^{ère} génération»	20%	10%		20%	CitéeChavée	50%	31.15	6.14
1946-1970	25.80%	Mur creux «2 ^{ème} génération»	20%	20%	10%	50%	Chaumont-Gistoux	100%	109.33	28.21
1971-1980	11.20%	Mur creux «2 ^{ème} génération»	20%	20%	40%	20%	Foyer Fontainois		111.97	12.54
1981-1990	5.60%	Murs creux isolés		20%	60%	20%	Fenouil 3	25%	75.46	4.23
							Fenouil 7	50%		
							Ruban	25%		
> 1990	8.10%	Murs creux isolés			40%	60%	Fenouil 3	25%	63.30	5.13
							Fenouil 7	50%		
							Ruban	25%		
% de bâtiments isolés par niveau d'isolation			21.20%	19.37%	13.66%	5.98%				
Demande de chaleur totale pour une habitation en RW (en kWh/m².an) :										96.01

5.4. CONCLUSIONS PRINCIPALES

L'étude des bâtiments a permis de développer des connaissances sur 7 types caractérisant l'ensemble du bâti périurbain wallon. Cela ne reprend qu'un échantillon de l'habitat périurbain mais qui se veut le plus représentatif. La principale analyse qui a traversé tout ce chapitre, celle des 7 différents niveaux d'isolation, est la base de cette recherche sur la rénovation des quartiers périurbains. Son impact est majeur dans le processus de rénovation. Le simple passage d'un niveau d'isolation à un autre supérieur permet d'importantes réductions de consommations. Si l'isolation ne peut être globale, il y a toujours un intérêt à ce qu'elle soit ciblée (isolation de certains locaux) mais il faut faire attention à l'adaptabilité du logement dans le futur. Soulignons cependant que les quartiers périurbains offrent souvent un grand potentiel d'isolation par l'extérieur, mode le plus recommandé en rénovation.

Un autre paramètre très important et qui lui est directement maîtrisable est la gestion des consignes. L'impact d'une simple diminution des températures en cas d'absence et durant la nuit permet d'importantes réductions sur les demandes de chauffage. Il s'agit d'établir des consignes sur mesure et adaptées à l'horaire des habitants ce que les technologies actuelles permettent de faire. Le comportement joue également un rôle immense. Il n'est pas toujours possible de l'améliorer car chaque génération a sa propre définition et ses propres exigences du confort thermique, mais il est possible de conscientiser les occupants face aux « conséquences » des choix de leurs comportements. D'autant plus que leur besoin de confort thermique va augmenter avec leur âge et ils ont la possibilité d'anticiper par la rénovation tant qu'ils ont encore la volonté d'améliorer les performances énergétiques de leur habitation en s'engageant dans des travaux. Une réflexion doit être menée sur l'évolution prévisible du mode d'habiter au cours d'une génération. Il est moins évident, en rénovation, de travailler sur les composantes bioclimatiques du bâtiment à moins d'une rénovation lourde qui permet d'adapter les ouvertures de manière à maximiser les gains solaires.

La phase IV permettra d'exploiter ces acquis afin de développer des typologies de rénovation notamment basées sur des rénovations ayant eu lieu comme à Chaumont-Gistoux ou à Bousval où ces anciennes fermes ont été rénovées et dont les granges ont été rénovées pour devenir du logement. L'intérêt sera d'étendre cela à l'échelle du quartier.

6. Les variations paramétrées « forme urbaine »

6.1. Introduction

Le chapitre 5 a présenté les variations paramétrées réalisées à l'échelle du bâtiment et abordait notamment l'influence des caractéristiques constructives, du climat ou du mode de vie des occupants sur les consommations énergétiques. Ces variations paramétrées ont été réalisées pour un ou plusieurs bâtiments-types. Le présent chapitre complète cette approche et présente les variations paramétrées réalisées à l'échelle du quartier. Il s'agit de déterminer, de façon théorique, l'influence des paramètres caractérisant la forme urbaine sur la consommation énergétique d'un quartier. Trois paramètres sont traités : la continuité entre les bâtiments (mitoyenneté), l'orientation du quartier et la rénovation énergétique des quartiers. La phase suivante de la recherche complètera ces premiers développements de façon plus concrète et appliquée puisqu'elle traite de la modélisation de différents scénarios concrets de renouvellement des tissus périurbains, à l'échelle du quartier.

6.2. La continuité entre les bâtiments

La continuité entre les bâtiments, ou mitoyenneté, est souvent présentée comme un critère important en termes de réduction des consommations énergétiques des bâtiments, notamment par les partisans de la « ville compacte ». Des études, tant empiriques que théoriques, montrent toutes qu'une maison unifamiliale est moins efficace énergétiquement parlant que le logement collectif. La maison mitoyenne se situe entre les deux [Owens, 1992 ; Djupkas et Nesbakkenn, 1995 ; Holden et Norland 2005]. Cependant, la différence entre ces trois différents types de logements tend à diminuer depuis 1980 car les maisons unifamiliales construites ces deux dernières décennies utilisent seulement 20% d'énergie de plus, per capita, que le collectif de la même époque [Holden 2001, Hall et al. 2003, Holden et Norland, 2005].

Nous avons ici testé l'impact de ce paramètre, pour les 2 quartiers-types de la recherche qui sont composés uniquement de bâtiments isolés de type « 4 façades » (le quartier de type « ruban » de Tintigny et le quartier de type « nappe » de Jambes). Nous avons considéré, de façon purement théorique, que chaque ensemble de 4 maisons individuelles isolées était remplacé par un groupe de quatre maisons accolées (soit 2 maisons mitoyennes et 2 maisons semi-mitoyennes), comme représenté sur la figure suivante.

Les gains énergétiques obtenus sont significatifs puisque cette distribution plus compacte des bâtiments engendre une réduction des consommations de chauffage de 19,9% dans le cas du quartier de type « ruban » et de 19,0% dans le cas du quartier de type « nappe ». En termes de consommations globales (bâtiment + transport + réseau), ces réductions se chiffrent respectivement à 12,7% et 12,6% dans les quartiers de type « ruban » et « nappe ».

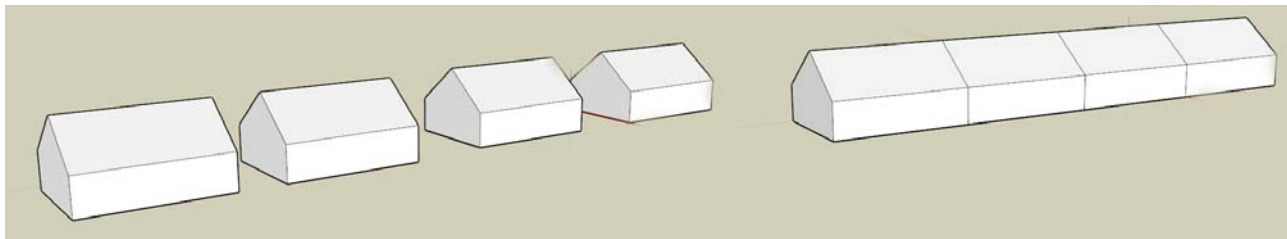


Figure 46 : Illustration des modèles utilisés : chaque ensemble de 4 bâtiments isolés « 4 façades » est remplacé par un ensemble de 4 bâtiments accolés (qui forment donc 2 maisons mitoyennes et 2 maisons semi-mitoyennes) pour tester l'impact de ce paramètre.

Si les bâtiments étaient groupés par 2 (ensemble de 2 maisons semi-mitoyennes) plutôt que par 4, les consommations de chauffage du quartier de type « ruban » pourraient être réduites de 13,1% et celles du quartier de type « nappe » de 12,9%, ce qui signifie en termes de consommations globales (bâtiments + transport + réseaux) une réduction de respectivement 8,4 % et 8,6 % dans ces deux quartiers.

A l'échelle du bâtiment individuel, nos simulations thermiques montrent, par exemple, que pour un même niveau d'isolation standard (celui en vigueur lors de la phase transitoire de l'application de la nouvelle réglementation thermique PEB), une maison isolée type⁶ (4 façades, 120 m²) consomme, pour le chauffage, 12,3% de plus qu'une maison semi-mitoyenne de même superficie et 21,9% de plus qu'une maison mitoyenne. Une maison mitoyenne isolée consomme par ailleurs 10,9% d'énergie de moins que la même maison semi-mitoyenne. Ces gains dus à la mitoyenneté varient selon le type de bâtiment, sa compacité, le niveau d'isolation et d'autres caractéristiques comme le pourcentage de surface vitrée sur les façades.

L'impact de la continuité entre bâtiments a également été évalué, pour les bâtiments-types mis en évidence lors de l'évaluation énergétique du quartier de type « mixte » de Rotheux. Le gain entre un bâtiment « 4 façades » et un bâtiment semi-mitoyen est de 13,5% (écart à la moyenne maximum de 1,11). Le gain entre un bâtiment « 4 façades » et un bâtiment mitoyen s'élève à 26,3% (écart à la moyenne maximum de 2,5). Le gain entre un bâtiment semi-mitoyen et un bâtiment mitoyen est de 14,8% (écart à la moyenne maximum de 1,77) [Crouzet, 2010].

6.3. L'orientation du quartier

L'orientation a fait l'objet de variations paramétrées, à l'échelle du bâtiment (voir chapitre 5). Les simulations ont montré, en l'état actuel, un faible impact de l'orientation du bâtiment (toutes autres choses restant égales par ailleurs) sur les consommations de chauffage des bâtiments testés. De nouvelles simulations concernant l'orientation ont été réalisées, cette fois à l'échelle du quartier, de façon à mettre en évidence l'impact éventuel de ce paramètre sur les consommations globales d'un quartier périurbain, selon son type (« ruban », « semi-mitoyen », « nappe » ou « mixte »).

⁶ La maison-type simulée ici est celle déjà utilisée, et présentée, dans la section 4.2. qui traite de l'impact des choix méthodologiques sur les résultats des simulations thermiques.

Chaque quartier, modélisé en l'état actuel en ce qui concerne l'isolation, le pourcentage de surfaces vitrées et les autres paramètres constructifs, a donc été soumis à une rotation de 360°, effectuée par pas de 45° de façon à définir 8 variantes par quartier (orientation = 0° / 45° / 90° / 135° / 180° / 225° / 270° / 315°). Les bâtiments-types de ces 8 variantes ont, conformément à la méthode développée et présentée dans Marique et al. [2010], fait l'objet de simulations thermiques dynamiques qui montrent que l'impact de l'orientation sur les consommations de chauffage des bâtiments des quartiers, en l'état actuel, est marginal. Il reste en effet inférieur à 3%, quelque soit le type de quartier étudié. Ces résultats sont cohérents avec l'approche développée dans les variations paramétrées « bâtiment » et avec la littérature. Maizia et al. [2009], par exemple, ont effectué le même type d'étude pour une série de blocs urbains caractéristiques de la Région Ile-de-France et ont obtenu une variation maximale de 3% selon l'orientation des blocs.

Ces résultats s'expliquent par la faible prise en compte, en l'état actuel, des critères élémentaires de bioclimatisme et d'accès solaire lors de la conception des maisons et des quartiers périurbains. En effet, l'orientation des bâtiments et la composition des façades semblent résulter de considérations purement fonctionnelles (faïte parallèle ou perpendiculaire à la voirie, façade relativement opaque à rue (une porte d'entrée et une porte de garage), façade ouverte vers le jardin à l'arrière quelque soit son orientation). Ces considérations posent, en amont, la question de la composition du quartier (tracé des voiries et des parcelles) qui devrait également être l'objet de plus d'attention de façon à permettre une meilleure exploitation des gains solaires et de l'orientation.

Ce manque de prise en compte des principes bioclimatiques et de l'orientation est d'autant plus dommageable qu'un potentiel existe et est facilement mobilisable lors de la construction de nouveaux bâtiments car, comme nous l'avons montré dans Marique et al. [2010], les obstructions et masques sont peu nombreux dans les quartiers périurbains étudiés en raison de la faible densité bâtie. de Meester [2009] montre, à cet effet, que typiquement, une répartition de 50% des fenêtres vers le sud, de 20% vers l'est et l'ouest et de 10% au nord permet une économie d'énergie de 1.500 kWh par an par rapport à une répartition égale du vitrage sur les 4 façades du bâtiment. Les orientations entre le sud-est et le sud-ouest y sont identifiées comme les plus avantageuses bien que de larges surfaces vitrées vers l'est et l'ouest puissent entraîner des problèmes de surchauffe. Il s'agit toutefois de mentionner que l'orientation devient un facteur influent si ces principes sont appliqués. Afin d'étayer ces propos, nous avons défini un modèle fictif de bâtiment, qui prend mieux en compte les apports solaires éventuels, via une meilleure répartition des surfaces vitrées sur les façades (façade sud très ouverte, façade nord fermée).

Dans cette configuration, l'orientation du bâtiment joue un rôle nettement plus important sur les consommations de chauffage. Le tableau suivant présente, pour les trois variantes d'isolation utilisées depuis la phase II, les consommations énergétiques relatives aux 8 variantes d'orientation définies (où 0° signifie que la façade vitrée est orientée au sud).

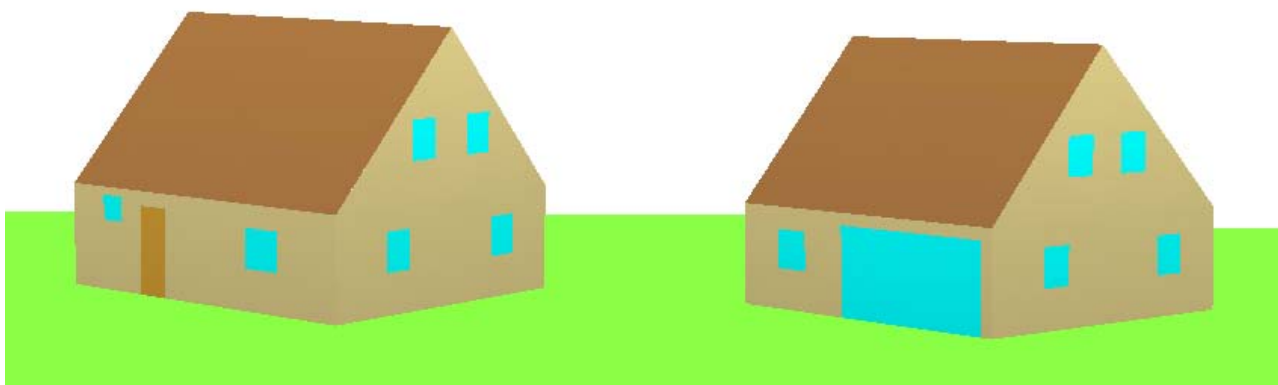


Figure 47 : Modèle fictif qui présente une large superficie vitrée au sud et de faibles ouvertures au nord, modélisé dans Alcyone (modeleur graphique de Pleiades + Comfie)

Tableau 81 : Consommation de chauffage [kWh/m².an] pour différents scénarios d'orientation et d'isolation

kWh/m².an	[avant 1981]	[1981 – 1996[	[1996 – 2008[
0°	306	95	73
45°	306	95	73
90°	308	97	75
135°	309	99	76
180°	310	100	77
225°	310	100	77
270°	309	99	76
315°	307	97	74
Différence max / colonne	1,3 %	5,0 %	5,2 %

On voit ainsi que l'impact de l'orientation peut atteindre 5,2 %, entre les versions « 0° - façade vitrée orientée au sud » et « 180° - façade vitrée orientée au nord », pour la version isolée du bâtiment. L'impact de l'orientation reste limité pour la version « non isolée » du bâtiment car les apports solaires sont rapidement dissipés via les parois non isolées et le simple vitrage.

Rappelons enfin, qu'en principe, les grandes surfaces vitrées, orientées vers le soleil, sont intéressantes pour récupérer des gains solaires. Dans la pratique, il convient toutefois d'y apporter quelques nuances, car en dépit des progrès technologiques récents, le vitrage présente toujours un pouvoir d'isolation nettement inférieur à celui des parties opaques et les pertes par transmission augmentent considérablement lorsqu'on étend la surface vitrée. En ce qui concerne les problèmes éventuels de surchauffe en été et de confort thermique en hiver, il convient d'éviter les trop grandes surfaces vitrées, même lorsqu'elles sont orientées au sud. La pénétration de la lumière du jour sera souvent décisive pour déterminer la dimension des surfaces vitrées. Ici aussi, la modération s'impose : trop de lumière provoque l'éblouissement et un inconfort visuel [de Meester, 2009]. Ces quelques recommandations seront appliquées, lors de la phase IV de la recherche, pour déterminer un (ou des) scénario(s) de renouvellement des tissus périurbains basé(s) sur une meilleure composition urbanistique des bâtiments et des quartiers. Il s'agira notamment de quantifier les gains engendrés par une meilleure prise en

compte de l'orientation et de la composition des façades dans la conception d'un nouveau quartier et d'évaluer la faisabilité de quelques principes de bioclimatisme en rénovation.

6.4. La rénovation énergétique des quartiers

L'évaluation des quartiers-types en l'état actuel, grâce à la méthode développée en phase II, avait montré les faibles performances énergétiques des quartiers périurbains existants [Marique et al., 2010 ; Marique et Reiter, 2010a]. Ce constat corroborait par ailleurs d'autres études comme celle de Kints [2007], celles menées par l'Institut National belge des Statistiques ou l'enquête logements sur la qualité de l'habitat réalisée par la Région wallonne en 2006-2007. Pour rappel, la première réglementation thermique adoptée en Région wallonne date de 1985 et a été revue en 1996 tout en restant relativement laxiste, notamment en comparaison avec les régions et pays voisins. L'entrée en vigueur progressive de la nouvelle réglementation européenne sur la Performance Énergétique des Bâtiments (DPEB) garantit toutefois l'amélioration notable des performances des nouveaux bâtiments ou des rénovations soumises à permis d'urbanisme.

L'objet de la présente section est d'évaluer l'impact du paramètre « consommation des bâtiments en phase d'utilisation » sur les consommations globales des 4 quartiers-types. Ce paramètre étant directement lié à l'isolation, c'est par ce biais que nous aborderons la question.

Nous avons donc considéré, en première approche, que l'ensemble des bâtiments-types mis en évidence dans la phase II et soumis aux simulations thermiques dynamiques pourraient être rénovés de façon à atteindre un standard d'isolation $K < K_{45}$. C'est par ailleurs le standard en vigueur pour les nouvelles constructions, les reconstructions et les transformations soumises à permis, à partir du 1^{er} septembre 2008, pendant la phase transitoire entre la réglementation de 1996 ($K < K_{55}$) et l'entrée en vigueur totale de la Directive européenne sur la Performance Énergétique des Bâtiments. Cette hypothèse est pertinente et faisable, en tout cas techniquement, car l'isolation de la toiture par l'intérieur, l'isolation des dalles de sol par la cave et le remplissage de la coulisse des murs creux sont des techniques employées couramment et qui peuvent être réalisées rapidement, sans nécessiter le déménagement temporaire des occupants. La faisabilité financière de ce scénario est plus problématique, mais comme stipulé dans nos hypothèses de départ, les aspects socio-économiques sortent du cadre de notre recherche sur les territoires périurbains.

Nous avons ensuite évalué les gains potentiels relatifs à des rénovations énergétiques plus poussées, qui viseraient à atteindre respectivement les standards « basse énergie » (consommations de chauffage inférieures à 60 kWh/m².an) et « passif » (consommations de chauffage inférieures à 15 kWh/m².an) pour l'ensemble des bâtiments d'un quartier. Ces simulations ont pour objet principal de quantifier, de façon théorique, le gain énergétique et de déterminer l'influence du facteur « consommation des bâtiments » sur les performances globales des quartiers. Les questions techniques relatives à l'étanchéité à l'air, etc. ne sont pas abordées ici. Elles relèvent plutôt de l'approche plus fine et détaillée, développée dans les chapitres relatifs à l'état de l'art des techniques innovantes applicables en milieu périurbain [chapitre 3] et aux variations paramétrées « bâtiment » [chapitre 5]. Le bilan en cycle de vie de ces

scenarios de rénovations sera abordé lors de la prochaine phase de la recherche.

Tableau 82 : Diminutions des consommations de chauffage des quartiers-types obtenus grâce à une rénovation énergétique des bâtiments jusqu'aux standards, K < K45, « basse énergie » et « passif »

	« Ruban »	« Semi-mitoyen »	« Nappe »	« Mixte »
K < K45	-58,4%	-56,7%	-45,2%	-70,2%
Basse énergie	-70,9%	-70,0%	-59,2%	-74,5%
Passif	-92,7%	-92,5%	-89,8%	-93,6%

Tableau 83 : Diminutions des consommations globales des quartiers-types (bâtiments + transport + réseaux) obtenus grâce à une rénovation énergétique des bâtiments jusqu'aux standards K < K45, « basse énergie » et « passif »

	« Ruban »	« Semi-mitoyen »	« Nappe »	« Mixte »
K < K45	-44,4%	-50,5%	-32,2%	-51,2%
Basse énergie	-53,9%	-62,7%	-42,2%	-54,3%
Passif	-70,5%	-82,8%	-64,0%	-68,2%

Les résultats présentés dans les deux tableaux précédents confirment le potentiel important de la rénovation énergétique du bâti et confirme aussi l'hypothèse de départ de la recherche, qui postulait d'aborder la question des territoires périurbains par l'angle de l'énergie, en particulier des consommations de chauffage des bâtiments résidentiels et du transport des personnes. Ils montrent aussi l'intérêt de mener des actions de rénovation globales, pensées à l'échelle des quartiers, pour obtenir des résultats optimaux.

Pour conclure cette section, les graphiques suivants présentent la répartition des consommations globales de chaque quartier (consommations relatives au chauffage des bâtiments en bleu, consommations relatives au transport (travail, école, commerces et loisirs) en rouge et consommations relatives à l'éclairage public en vert) pour chaque scénario de rénovation énergétique du bâti (en l'état actuel en haut à gauche, en rénovation K < K45 en haut à droite, en « basse énergie » en bas à gauche et en « passif » en bas à droite).

Le chauffage des bâtiments est le poste le plus important, en l'état actuel, en raison de l'âge élevé et d'un faible taux d'isolation du bâti existant. Le premier scénario de rénovation énergétique (K < K45) inverse cette tendance, sauf pour le quartier de type « semi-mitoyen » de Fontaine-l'Evêque, où les consommations énergétiques relatives au transport des personnes sont relativement peu élevées, en comparaison avec les autres quartiers. Il faut en effet atteindre une rénovation « passive » dans ce quartier pour que le bâti soit comparativement moins énergivore que le transport alors que pour les trois autres quartiers, le transport devient le poste le plus important dès l'application du premier scénario de rénovation (K < K45). Cette conclusion souligne aussi l'importance fondamentale du transport pour les nouveaux quartiers pour lesquels le standard PEB doit au minimum être respecté.

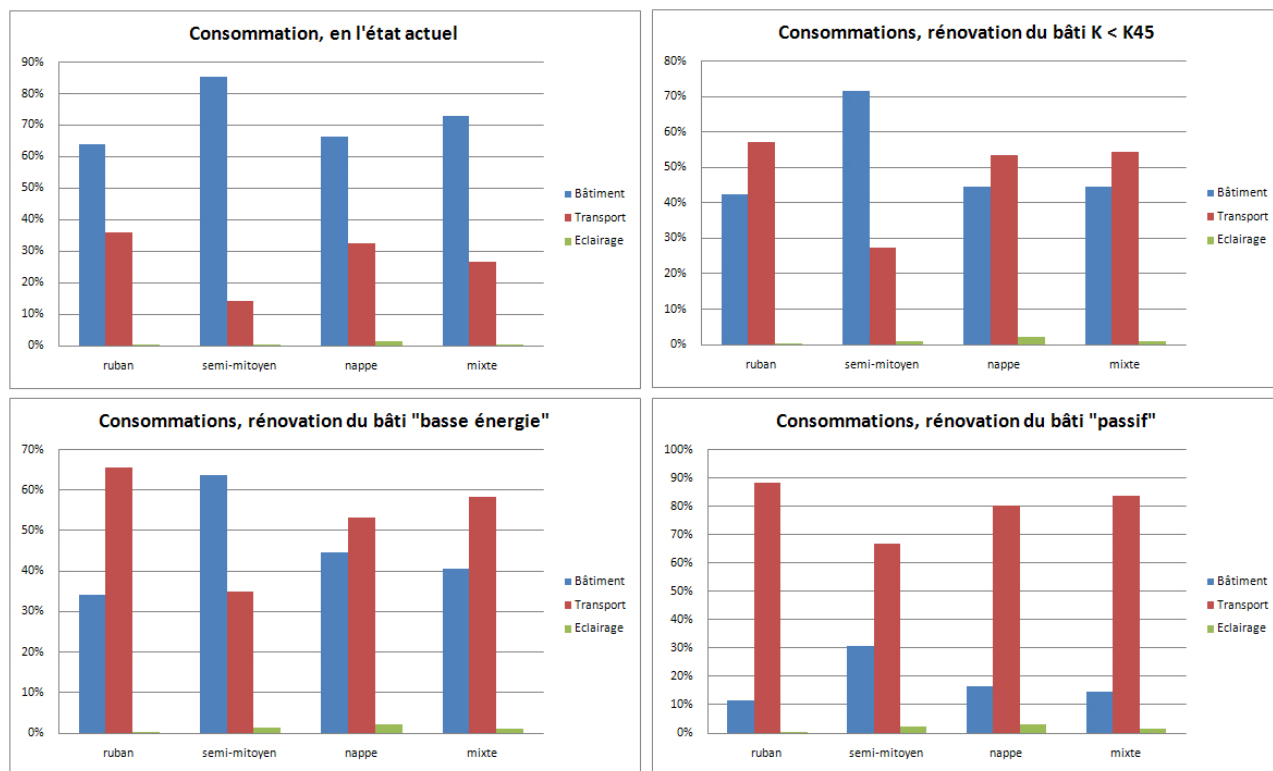


Figure 48 : Répartition des consommations énergétiques des quartiers-types, en l'état actuel, [a, en haut à gauche], en rénovation K < K45 [b, en haut à droite], en « basse énergie » [c, en bas à gauche] et en « passif » [d, en bas à droite]

6.5. Le croisement des paramètres

Trois paramètres relatifs à la forme urbaine ont été testés dans ce chapitre (l'orientation, la continuité du bâti et la rénovation énergétique des quartiers (en phase d'utilisation)) de façon individuelle, ce qui signifie qu'un seul paramètre est soumis à des variations, les autres caractéristiques restant fixes. Nous avons finalement réalisé une série de simulations thermiques dynamiques destinées à évaluer l'impact conjoint de ces trois paramètres, pour un bâtiment-type. Le bâtiment soumis à cette étude est la maison unifamiliale utilisée ci-dessus [chapitre 6.3., Figure 47]. Trois types de continuité sont considérées : une maison isolée (4 façades / 4F), une maison semi-mitoyenne (3 façades / 3F) et une maison mitoyenne (2 façades / 2F). Trois variantes d'isolation (définies en phase II) et huit variantes d'orientation (0° signifie que la façade vitrée est orientée au sud, pas de 45°) sont testées.

Des 72 variantes ainsi définies dans le tableau suivant pour un même gabarit d'habitation, c'est logiquement la maison mitoyenne, isolée, bien orientée (marquée par un * dans le tableau) qui présente les meilleures performances énergétiques (57 kWh/m².an). Le gain par rapport à la situation la plus défavorable (**, pas d'isolation, 4 façades, orientation de la façade vitrée au nord) s'élève à 310 kWh/m².an.

Tableau 84 : Consommations de chauffage (kWh/m².an) obtenues avec Pleiades + Comfie pour une maison-type, pour différentes variantes d'isolation, de mitoyenneté et d'orientation.

kWh/ m².an	Pas d'isolation + SV [1950 – 1981[			Isolation légère + DV [1981–1996]			Isolation standard + DV [1996–2008[			Δ ligne
	4F	3F	2F	4F	3F	2F	4F	3F	2F	
0°	306	276	248	95	84	74	73	64	57*	81,4%
45°	306	276	248	95	84	74	73	64	57	81,4%
90°	308	278	250	97	85	77	75	66	60	80,5%
135°	309	280	253	99	88	79	76	67	62	79,9%
180°	310**	280	253	100	88	79	77	69	62	80,0%
225°	310**	280	253	100	89	79	77	69	62	80,0%
270°	309	279	252	99	88	78	76	68	61	80,3%
315°	307	278	251	97	86	76	74	66	59	80,8%
Δ col.	1,3%	1,4%	2,0%	5,0%	5,6%	6,3%	5,2%	7,2%	8,1%	

On remarque également que :

- C'est l'isolation qui a l'impact le plus important en termes de consommations énergétiques de chauffage. Pour un même type de mitoyenneté (4F, 3F ou 2F), les gains engendrés par une meilleure isolation sont compris entre 75,4% et 77,0 % ;
- Les gains dus à l'isolation semblent d'autant plus importants que l'orientation est bonne ;
- Pour une orientation donnée, les deux situations les plus extrêmes en termes de consommations énergétiques sont la maison « 4 façades » non isolée et la maison mitoyenne isolée. La différence entre ces deux cas est reprise dans la dernière colonne du précédent tableau (Δ ligne) ;
- Pour un niveau d'isolation donné, l'impact de l'orientation est d'autant plus important que la mitoyenneté est grande, ce qui peut s'expliquer par la moindre superficie vitrée des maisons mitoyennes ;
- Toutes autres choses restant égales, l'impact de l'orientation augmente avec le niveau de mitoyenneté et l'isolation du bâtiment (Δ colonne). Les conclusions mentionnées dans le chapitre 6.3. (l'orientation du quartier) sont donc bel et bien spécifiques aux quartiers étudiés, et plus généralement à de nombreux quartiers existants (voir notamment Maïzia et al. [2009]). L'orientation n'a que peu d'influence dans les cas où les principes bioclimatiques ne sont pas appliqués. Elle reste toutefois un facteur important, notamment dans la cadre de nouvelles constructions, et doit être prise en compte tant en construction qu'en rénovation pour améliorer les performances énergétiques du bâti périurbain.

6.6. Synthèse

Le présent chapitre a présenté l'influence de trois paramètres qui relèvent de la forme urbaine sur les consommations énergétiques relatives au chauffage des bâtiments des quartiers périurbains étudiés et complète ainsi l'approche développée à l'échelle du bâtiment [chapitre 5]. Nous avons montré que le paramètre le plus influent pour améliorer l'efficacité énergétique du bâti périurbain est incontestablement l'isolation du bâti. Cette conclusion est d'autant plus

importante qu'une enquête exploratoire menée dans le périurbain francilien en 2008 montre que la principale réponse apportée par les ménages à la hausse du coût du carburant est de réaliser des travaux d'amélioration thermique de leur logement [Desjardins et al., 2008 ; Desjardins et Llorente, 2009]. Poortinga et al. [2003] avancent également que les mesures visant aux économies d'énergie sont en général mieux perçues par les ménages quand elles touchent au logement plutôt qu'au transport. L'impact de ce paramètre sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment et des quartiers sera abordé lors de la prochaine phase.

La mitoyenneté est le second paramètre le plus influent, suivi de l'orientation du bâti, qui combinée à une meilleure prise en compte des principes bioclimatiques, notamment la répartition des surfaces vitrées sur les façades, peut également améliorer l'efficacité énergétique du bâti périurbain. Ces solutions sont plus difficilement envisageables en rénovation du bâti existant. Elles constituent toutefois des éléments à prendre en compte, tant en construction, qu'en rénovation ou lors de la densification des quartiers existants. Les scénarios de renouvellement périurbain à formaliser et à évaluer dans la prochaine phase de la recherche y prêteront donc une attention particulière.

Finalement, les simulations thermiques réalisées dans le cadre de cette évaluation énergétique des quartiers sur base d'une variation paramétrée de leurs principales caractéristiques concernent des quartiers-types et des bâtiments-types. La question de la généralisation de l'approche développée et des résultats obtenus à d'autres types de bâtiments, d'autres types de quartiers, et de façon générale à l'ensemble du territoire périurbain wallon, doit maintenant être traitée, notamment dans la perspective du développement de l'outil final interactif.

7. Les variations paramétrées « transport »

7.1. Introduction

Dans le contexte actuel d'intérêts croissants en matière de développement durable et de changements climatiques, réduire les consommations d'énergie relatives au transport, secteur qui représente 32% de la consommation globale de l'Union Européenne (le secteur du bâtiment en représente 37%) apparaît comme une cible politique importante à tous les niveaux du territoire [Maïzia et al. 2009]. Si les acteurs du développement territorial, qu'ils soient politiciens, promoteurs, agents administratifs ou citoyens, semblent de plus en plus concernés par les performances énergétiques du bâtiment et les économies d'énergie qui peuvent être engrangées, notamment depuis la transposition et l'adaptation dans les Etats Membres de la Directive Européenne sur la Performance Energétique du Bâtiment, force est de constater qu'ils semblent toutefois porter moins d'attention au transport et à la mobilité (il n'existe par exemple aucune réglementation qui fixe des exigences quelconques en matière de consommation énergétique liée aux déplacements des personnes).

Transport et mobilité sont par ailleurs indissociables du phénomène de l'étalement urbain qui nous occupe dans le cadre de la recherche SAFE, car c'est le développement de la mobilité individuelle et les prix abordables du carburant qui ont rendu possible le développement, sur tout le territoire, de formes urbaines étalées et peu denses [EAA, 2006 ; Jenks et Burgess, 2002], ce qui résultent en une augmentation des distances parcourues et des consommations énergétiques relatives au transport [Silva et al., 2007]. Ce sont en effet les performances des réseaux de transport qui déterminent, si un territoire est intéressant pour les promoteurs qui sont susceptibles d'étendre les villes [Halleux, 2008]. Même les nouveaux quartiers qui s'autoproclament « éco » ou « durable » sont parfois situés loin des centres-villes et ne sont donc pas si irréprochables du point de vue environnemental, en raison des nombreux déplacements qu'ils engendrent [Harmajärvi, 2000].

Dans ce contexte, il semble indispensable de comprendre le rôle de la structure urbaine sur les déplacements, notamment de façon à pouvoir proposer des stratégies pour mitiger ces effets négatifs [Giuliano et Small, 1993]. Une méthode d'évaluation des consommations énergétiques liées aux déplacements des personnes a ainsi été développée dans la seconde phase de la recherche SAFE [Marique et al., 2010]. Elle a pour but premier de quantifier l'impact énergétique de différents types de déplacements, en l'état actuel. Elle doit ensuite permettre de réaliser des variations paramétrées visant à identifier les paramètres les plus influents et les meilleures stratégies à mettre en œuvre pour diminuer leur impact énergétique. L'objet de ce chapitre est de présenter les résultats des variations paramétrées réalisées grâce à cette méthode et de synthétiser les principaux résultats. Nous ne considérerons, dans le cadre de ces variations paramétrées, que les déplacements domicile-travail et les déplacements scolaires pour lesquels des données empiriques sont disponibles à l'échelle du secteur statistique. La méthode utilisée et certaines variations paramétrées ont été présentées lors de deux conférences internationales : Marique et Reiter [2010a et 2010b]. Les stratégies testées abordent la

localisation, les distances parcourues, les performances des véhicules, le télé-travail, le report modal et le temps de travail.

7.2. La localisation des quartiers

Comme les premières conclusions de l'évaluation énergétique des quartiers-types en l'état actuel [phase II] ont mis en évidence des différences significatives dans les consommations d'énergie liées au transport des personnes, selon le quartier évalué, le premier paramètre testé est la localisation des quartiers, au sens large. Il s'agit en effet de garder toutes les caractéristiques de la population d'un quartier mais de considérer que ce quartier peut bénéficier d'une meilleure localisation. Nous avons donc considéré, dans une première simulation, que les quartiers de type « ruban » de Tintigny, de type « nappe » de Jambes et de type « mixte » de Rotheux conservaient leurs caractéristiques propres (nombre de personnes, de travailleurs et d'écoliers, même répartition du temps de travail) mais pouvaient, de façon théorique, bénéficier de la même localisation que le quartier de type « semi-mitoyen » de Fontaine, à savoir une proximité avec un grand centre-ville et une meilleure desserte en transport en commun (via les distances parcourues et le mode de transport utilisé). Nous avons ensuite considéré que tous les quartiers gardaient leurs caractéristiques de population et de temps de travail mais étaient localisés à Tintigny qui est le quartier, qui, en l'état actuel, présente les moins bonnes performances énergétiques.

Tableau 85 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) si la localisation des quartiers change et que les quartiers gardent leurs caractéristiques socio-économiques (nombre d'habitants, de travailleurs et d'écoliers, temps de travail)

	Type « Ruban » de Tintigny	Type « Semi- mitoyen » de Fontaine	Type « Nappe » de Jambes	Type « Mixte » de Rotheux
Si même localisation que Fontaine	-31,9%	/	-14,9%	- 24,4%
Si même localisation que Tintigny	/	+91,8%	+34,7%	+14,0%

On voit que l'impact de la localisation est très important. Si tous les quartiers pouvaient bénéficier de la même localisation que le quartier de type « semi-mitoyen » de Fontaine-l'Evêque, la réduction des consommations relatives au transport pourrait atteindre 31,9%, essentiellement parce que les déplacements en voiture sont moins nombreux et moins longs. On peut remarquer que la très forte augmentation des consommations énergétiques pour le quartier de type « semi-mitoyen », localisé de façon théorique à Tintigny résulte en fait d'une très forte part modale des modes doux à Fontaine-l'Evêque, alors qu'à Tintigny, les déplacements scolaires se font essentiellement en voiture et donc amènent des consommations énergétiques supplémentaires. L'impact de la localisation résulte toutefois de l'interaction complexe d'un grand nombre de paramètres. Les plus significatifs d'entre eux sont testés dans la suite de ce chapitre, afin de hiérarchiser les éléments les plus influents.

7.3. Les distances parcourues

Afin de tenter d'isoler l'influence des distances parcourues dans les consommations d'énergie relatives au transport, plusieurs simulations sont réalisées. Nous avons ainsi considéré que les distances domicile-travail et domicile-école sont réduites de 10%, puis de 20%. Dans la troisième simulation, seules les distances domicile-travail sont réduites de 20%. Les distances domicile-école, uniquement, sont réduites de 20% dans la dernière simulation.

Tableau 86 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) si les distances domicile-travail et / ou domicile-école sont réduites

	Type « Ruban » de Tintigny	Type « Semi- mitoyen » de Fontaine	Type « Nappe » de Jambes	Type « Mixte » de Rotheux
Distances domicile-travail et domicile-école : -10%	-9,7%	-9,8%	-9,7%	-9,6%
Distances domicile-travail et domicile-école : -20%	-19,4%	-19,5%	-19,5%	-19,2%
Distances domicile-travail uniquement : -20%	-17,1%	-16,8%	-17,2%	-15,7%
Distances domicile-école uniquement : -20%	-2,4%	-2,7%	-2,3%	-3,5%

Ces simulations confirment que l'impact des distances parcourues sur les consommations énergétiques de transport est élevé. S'il est impossible de changer la localisation des quartiers existants, ce facteur est primordial lors du choix d'implantation d'un nouveau quartier et plaide pour une concentration des activités et une plus grande mixité des fonctions, qui permettent toutes deux de réduire les distances à parcourir. On remarque par ailleurs que les quatre quartiers-types semblent réagir de façon identique aux simulations testées. Il s'agira de vérifier que c'est également le cas pour d'autres types de quartiers (notamment urbains), lors de la généralisation de l'approche à tout le territoire wallon.

7.4. Les performances des véhicules

Le troisième type de variations paramétrées réalisées sur le modèle « transport » concerne les performances des véhicules. Nous avons considéré que les performances des véhicules (voiture diesel et essence, bus publics) sont d'abord améliorées de 10%, puis de 20%. Afin d'isoler l'impact des véhicules publics, dans la troisième simulation, seules les performances de ces véhicules sont améliorées de 20%.

Tableau 87 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) si les performances des véhicules sont améliorées

	Type « Ruban » de Tintigny	Type « Semi- mitoyen » de Fontaine	Type « Nappe » de Jambes	Type « Mixte » de Rotheux
Performances véhicules	-9,2%	-9,2%	-8,7%	-9,5%

privés et publics : +10%				
Performances véhicules privés et publics : +20%	-18,5%	-18,5%	-17,3%	-18,9%
Performances véhicules publics uniquement : +20%	-1,2%	-1,9%	-1,2%	-1,5%

Ce type de stratégie permet des réductions significatives des consommations énergétiques relatives au transport, telles que calculées par la méthode développée dans le cadre du projet SAFE. Ce potentiel est d'autant plus important que l'amélioration des performances des véhicules est une approche crédible et réaliste. Desjardins [2009] mentionne à cet effet « *qu'entre 1970 et 2005, si le nombre de véhicules-kilomètres parcourus a été multiplié par 2,5 en France, la consommation énergétique a été seulement multipliée par 2 grâce à l'amélioration des technologies. On peut supposer que les constructeurs vont fortement accélérer la mise au point de véhicules plus sobres dans un contexte de hausse durable des coûts de l'énergie. Les ménages peuvent ainsi répondre à une hausse durable du coût du carburant, non pas par une diminution de leur kilométrage automobile, mais par le choix de véhicules plus sobres* ». L'augmentation des distances parcourues, même si elle ne se chiffre pas en termes de consommation d'énergie supplémentaire grâce à de meilleures performances du stock de véhicules, amènent toutefois d'autres problématiques : congestion, tendance favorable à l'étalement urbain, etc.

On remarquera enfin qu'une amélioration de 20% des performances des véhicules n'amène qu'une réduction assez faible des consommations d'énergie pour les déplacements domicile-travail et domicile-école, en raison d'une faible part modale du bus dans les quartiers testés. Pour obtenir des résultats plus importants, il conviendrait d'améliorer, en parallèle, la part modale des transports en commun.

La performance des véhicules est ici appréhendée via les facteurs de consommation utilisés pour chaque mode de transport puisque ces facteurs sont basés sur la consommation des véhicules (litre / kilomètre) et le taux d'occupation des véhicules. Rappelons à ce propos que la définition et la justification de ces facteurs n'est pas univoque. Les facteurs rencontrés dans la littérature varient fortement selon les études. Les facteurs de consommation attribués à la voiture et au bus varient par exemple du simple au triple entre les valeurs mentionnées par l'IEA [2007] et reprises dans CEM [2002] et celles de l'UIPT [2003] pourtant spécifiquement calculés pour des transports urbains. Les facteurs de consommation utilisés dans d'autres travaux scientifiques comparables au nôtre diffèrent également. Boussauw et Witlox [2009] utilisent par exemple les facteurs de consommation définis par Mira [2007] pour la Région flamande qui se sont eux-mêmes basés sur une recherche française [Enerdata, 2004]. Ces facteurs sont inférieurs à ceux définis ci-dessus, pour chaque mode de véhicules (par exemple le facteur utilisé pour la voiture dans ces recherches s'élèvent de 0,43 à 0,53 kWh/pkm alors que le nôtre a été évalué à 0,61 kWh/pkm pour la voiture diesel et 0,62 kWh/pkm pour les voitures essences). La CPDT [2010] utilise également des valeurs inférieures aux nôtres alors que le mode de calcul utilisé est similaire. La différence pour la voiture individuelle (0,45 dans leur cas) s'explique par le taux de remplissage utilisé (1,4 occupants par voiture) qui nous semble trop important pour des déplacements domicile-travail. Cette valeur est une moyenne mentionnée par Hubert et Toint [2002] pour l'ensemble des déplacements des ménages (loisirs, achats, etc.) alors qu'une

analyse des données des recensements INS plaide plutôt pour un taux de remplissage de 1,15 occupants par véhicule pour les déplacements domicile-travail. Le facteur utilisé par CPDT [2010] pour le bus est également inférieur à celui que nous avons défini (0,35 contre 0,49) car la consommation des véhicules utilisée dans ce travail est inférieure à la nôtre (équivalent 30 litres par 100 kilomètres). Saunders et al. [2008] enfin utilisent des valeurs proposées par Kenworthy [2003] pour les villes de l'ouest de l'Europe. Ces valeurs sont plus élevées que celles que nous utilisons (0,92 kWh/pkm pour la voiture individuelle). La définition de ces facteurs relèvent de considérations et hypothèses propres à chaque recherche, et ce d'autant plus que notre projet traite des territoires périurbains alors que les autres recherches citées visent des territoires plus larges et sont donc plus générales. Les valeurs proposées dans la littérature doivent donc être appréhendées avec beaucoup de prudence. C'est la raison pour laquelle il nous a semblé opportun de définir nos propres facteurs de consommations, sur base de données locales de la Région wallonne et en spécifiant de façon claire les hypothèses et données utilisées. Les justifications méthodologiques et sources utilisées dans notre méthode sont disponibles dans Marique et al. [2010]. Remarquons enfin que le facteur de consommation relatif au train a été adapté, en fonction de données locales provenant d'Electrabel (plutôt que celle de l'ADEME utilisées jusqu'à présent) et qui avancent qu'un kilowatt heure électrique produit 227 grammes de CO₂. Le facteur de consommation relatif au train est donc maintenant évalué à 0,15. La CPDT [2010] sur base de données de l'IWEPS et de l'ICEDD utilise ce même facteur qui provient d'un calcul plus détaillé prenant notamment en compte la petite fraction du matériel roulant non électrifié. Les calculs réalisés à l'échelle des quartiers-types sont basés sur les anciennes valeurs des facteurs de consommations (tels que définis dans Marique et al. [2010]). Outre la modification du facteur de consommation du train, les valeurs utilisées pour les autres modes ont également été adaptées. Les facteurs de consommation utilisés, d'une part pour l'évaluation énergétique des quartiers et les variations paramétrées s'y rapportant, et d'autre part, pour la définition et la cartographie des indices de localisation, sont donc légèrement différents. Comme il s'agit de deux approches différentes (évaluation énergétique d'un quartier versus développement d'un indice de localisation), cette distinction ne porte pas à conséquence. De plus, la part modale du train étant très faible dans les quartiers-types étudiés, les résultats ne sont pas fondamentalement modifiés par cette adaptation du facteur de consommation.

7.5. Le télétravail

Les variations paramétrées suivantes visent à évaluer l'impact d'une stratégie souvent mise en évidence dans les politiques et documents d'orientation, à l'heure actuelle, à savoir encourager le travail à domicile, sur la réduction des consommations relatives aux déplacements domicile-travail.

Deux simulations relatives au télétravail ont été définies et testées. Nous avons considéré successivement que 5%, puis 10%, des travailleurs pourraient recourir au travail à domicile. Les résultats sont présentés dans le tableau qui suit et montre le potentiel intéressant de ces stratégies dans une optique de réduction des consommations relatives aux déplacements des personnes.

Tableau 88 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) pour deux hypothèses relatives au télétravail

	Type « Ruban » de Tintigny	Type « Semi- mitoyen » de Fontaine	Type « Nappe » de Jambes	Type « Mixte » de Rotheux
5% de télétravail	-4,1%	-3,8%	-4,3%	-4,9%
10% de télétravail	-9,5%	-8,1%	-8,9%	-9,1%

7.6. Le report modal

Le type de stratégies testé ici concerne l'impact du report modal sur les consommations d'énergie des déplacements domicile-travail et domicile-école. Nous avons dans un premier temps abordé la question du report modal, de la voiture individuelle sur les transports en communs (bus) en considérant d'abord que 10% des travailleurs pourraient modifier leurs comportements de mobilité et utiliser dorénavant le bus plutôt que la voiture pour se rendre au travail. Dans la seconde simulation, ce pourcentage de travailleurs est fixé à 20%. Dans les deux simulations suivantes, nous avons considéré que 10%, puis 20%, des travailleurs et des écoliers utilisent le bus plutôt que la voiture pour se rendre respectivement au travail et à l'école. Pour tenir compte d'une plus grande utilisation du bus, le taux de remplissage utilisé pour calculer le facteur de consommation du bus est augmenté.

Tableau 89 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) pour quatre hypothèses relatives au report modal (voiture > bus)

	Type « Ruban » de Tintigny	Type « Semi- mitoyen » de Fontaine	Type « Nappe » de Jambes	Type « Mixte » de Rotheux
Report modal (uniquement travail) : 10%	-3,4%	-2,8%	-3,0%	-3,9%
Report modal (uniquement travail) : 20%	-5,9%	-5,6%	-5,3%	-5,2%
Report modal (travail et école) : 10%	-3,9%	-3,1%	-3,6%	-4,7%
Report modal (travail et école) : 20%	-6,8%	-6,2%	-6,2%	-7,6%

Le report modal, de la voiture individuelle sur le bus, semble avoir un impact moins important que d'autres types de stratégies testées dans le cadre de ces variations paramétrées, notamment la diminution des distances parcourues ou l'amélioration des performances des véhicules. Ce constat s'explique par le lien entre distances parcourues et facteur de consommation⁷ des véhicules. En effet, le train bénéficie d'un facteur de consommation plus

7 Le facteur de consommation de chaque mode de transport a été défini et calculé dans le premier rapport scientifique et technique [Marique et al., 2010] sur base de données provenant notamment de l'ADEME. Le facteur de consommation du train a depuis été mis à jour, sur base de données Electrabel. L'ancien facteur a néanmoins été utilisé pour les variations présentées dans ce chapitre. De façon générale, ces facteurs de consommations prennent en

faible que celui de la voiture, mais les trajets en train sont nettement plus longs (en kilomètres) que ceux réalisés en voiture. En ce qui concerne le bus, en raison d'un faible taux de remplissage en milieu périurbain, la différence entre les facteurs de consommations du bus et de la voiture reste peu importante.

Afin d'approfondir cette approche, nous avons ensuite étudié le report modal de la voiture vers les modes doux. Trois hypothèses ont été testées : la première simulation considère que tous les trajets de moins de 5 kilomètres, à destination du travail ou de l'école, sont maintenant réalisés à pied ou en vélo (facteur de consommation = 0). Dans la seconde simulation, les déplacements à destination de l'école et du travail et dont la distance est inférieure à 10 kilomètres sont supposés être réalisés à pied ou en vélo. Enfin, dans la troisième simulation présentée dans le tableau qui suit, les trajets de moins de 5km, à destination de l'école et du travail sont réalisés à pied ou en vélo alors que les trajets domicile-travail dont la distance est comprise entre 5 et 20 kilomètres sont réalisés en scooter. Un facteur de consommation a été défini pour le scooter, sur base de la même méthodologie que celle utilisées pour la voiture et le bus. Ce coefficient se chiffre à 0,445 kWh/personne.km, sur base d'une consommation moyenne de 4,5 litres aux 100 kilomètres et des mêmes facteurs de conversion que ceux utilisés pour les autres modes de transport. On supposera par ailleurs que dans les deux premières simulations, les déplacements à destination de la gare, quand le train est le mode de transport principal utilisé, sont également réalisés en vélo ou à pied. C'est également le cas des déplacements domicile-gare inférieur à 5 kilomètres, dans la troisième simulation, mais les trajets supérieurs à 5 kilomètres sont ici réalisés en scooter.

Tableau 90 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) pour trois hypothèses relatives au report modal (voiture > modes doux et/ou scooter)

	Type « Ruban » de Tintigny	Type « Semi- mitoyen » de Fontaine	Type « Nappe » de Jambes	Type « Mixte » de Rotheux
Report modal des trajets de moins de 5 km sur les modes doux	-5,5%	-7,6%	-8,3%	-7,6%
Report modal des trajets de moins de 10 km sur les modes doux	-9,8%	-14,8%	-24,6%	-11,6%
Report modal des trajets de moins de 5 km sur les modes doux et des trajets domicile-travail de 5 à 20 km sur le scooter	-8,6%	-10,5%	-7,5%	-10,7%

Pour les simulations relatives à un report modal vers les modes doux, les réductions sont potentiellement les plus importantes dans les quartiers situés à proximité d'un centre ville (le quartier de type « nappe » de Jambes est situé à 6 kilomètres de Namur et le quartier de type

compte les caractéristiques des véhicules, du carburant utilisé et le taux de remplissage.

« semi-mitoyen » de Fontaine-l'Eveque est situé à 10 kilomètres de Charleroi) car dans ces quartiers, un grand nombre de déplacements, en l'état actuel, font moins de 10 kilomètres alors que dans les quartiers situés plus loin d'un centre-ville (Tintigny et Rotheux), les déplacements de courte distance sont nettement moins nombreux. Ainsi, les déplacements de moins de 10 kilomètres représentent 42,3% et 59,7% de l'ensemble des déplacements liés au travail à Fontaine et à Jambes, alors qu'ils ne représentent que 18,5% et 24,5% des déplacements à Tintigny et Rotheux. Le report modal sur les modes doux pour les trajets de moins de 5 kilomètres et sur le scooter, tel que défini ci-dessus, permet d'augmenter de façon significative les économies engendrées par le seul report modal sur les modes doux pour les trajets de moins de 5 kilomètres. Le scooter qui, au contraire des modes doux, peut être un mode de transport envisageable pour des déplacements atteignant 20 kilomètres est une solution qui permet également des gains énergétiques significatifs par rapport à la voiture grâce à une consommation moins importante (mais en partie contrebalancé par un taux de remplissage également moins important).

Le potentiel de réduction des consommations par un report modal sur les modes doux est par ailleurs plus important pour les déplacements scolaires que pour les déplacements domicile-travail car les distances parcourues pour aller à l'école sont moins élevées que celles parcourues pour se rendre au travail. Les déplacements scolaires de moins de 10 kilomètres représentent ainsi respectivement 60,0%, 80,7%, 92,7% et 48,1% de l'ensemble des déplacements scolaires à Tintigny, Fontaine, Jambes et Rotheux. Le tableau suivant présente les réductions potentielles d'énergie présentées séparément pour les déplacements domicile-travail et domicile-école. Les déplacements domicile-travail étant toutefois plus nombreux que les déplacements scolaires, à l'échelle des quartiers, les réductions globales (travail + école) sont plus réduites.

Tableau 91 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail puis école) pour un report modal des trajets de moins de 10 km sur les modes doux. !!! Les résultats présentés ici sont ramenés aux déplacements liés au travail sur la première ligne et aux déplacements scolaires sur la seconde, et pas à la somme des déplacements liés au travail et à l'école comme dans le reste de ce chapitre !!!

	Type « Ruban » de Tintigny	Type « Semi- mitoyen » de Fontaine	Type « Nappe » de Jambes	Type « Mixte » de Rotheux
Report modal des trajets (domicile-travail) de moins de 10 km sur les modes doux / impact sur les déplacements de travail	-7,2%	-11,4%	-19,7%	-11,4%
Report modal des trajets (domicile – école) de moins de 10 km sur les modes doux / impact sur les déplacements scolaires	-28,9%	-36,3%	-62,5%	-12,9%

Pour conclure, nous remarquerons qu'encore une fois, les distances parcourues jouent un rôle

important dans le cadre de la réduction des consommations d'énergie relatives aux déplacements des personnes, puisqu'elles autorisent, ou pas, le recours aux modes doux. Rappelons enfin que ces simulations et les gains engendrés restent théoriques et visent uniquement à mettre en évidence l'impact potentiel de différentes stratégies. Le report modal, en particulier sur les modes doux (marche à pied et vélo), est en effet intimement liés à d'autres éléments comme la déclivité (bien que peu contraignante dans une grande partie de la Région wallonne), les conditions climatiques ou les chaînes de déplacements. L'objet est donc bien ici de quantifier un potentiel maximum et surtout de comparer l'efficacité de différentes stratégies en vue d'orienter les décisions et actions à mener en matière de réduction des consommations énergétiques des quartiers périurbains wallons.

7.7. Le temps de travail

Les dernières variations paramétrées visent à évaluer le rôle du temps de travail des travailleurs sur les consommations d'énergie relatives aux déplacements domicile-travail.

Tableau 92 : Impact du paramètre « temps de travail » sur les consommations d'énergie relatives aux seuls déplacements domicile-travail (1^{ère} ligne) et sur les déplacements domicile-travail et scolaires (2^{ème} ligne) : on considère ici que l'ensemble des travailleurs sont occupés à temps plein.

	Type « Ruban » de Tintigny	Type « Semi- mitoyen » de Fontaine	Type « Nappe » de Jambes	Type « Mixte » de Rotheux
Tous les travailleurs sont occupés à temps plein / impact sur les déplacements domicile-travail	-10,3%	-20,5%	-15,7%	-12,8%
Tous les travailleurs sont occupés à temps plein / impact sur les déplacements domicile-travail et scolaires	-9,1%	-17,7%	-13,9%	-10,5%

Le temps de travail a un impact important sur les consommations d'énergie relatives aux déplacements domicile-travail, et ce d'autant plus que le nombre de travailleurs à temps partiel est important (23% des travailleurs travaillent moins de 30 heures par semaine dans le quartier de Fontaine-L'évêque, alors qu'ils ne sont que 15% à Rotheux ; 6,4% des travailleurs travaillent moins de 20 heures par semaine à Rotheux contre 11,3% à Fontaine).

Extraire le paramètre « temps de travail » de l'analyse permet de mettre en évidence le rôle structurant du territoire et de la localisation sur les consommations d'énergie relatives au transport. Dans la suite de la recherche, le temps de travail sera pris en compte quand il s'agit d'évaluer les consommations énergétiques d'un quartier (puisque les caractéristiques socio-économiques de la population sont spécifiques à chaque quartier). Par contre, le temps de travail ne sera pas considéré lorsqu'il s'agira de développer un index de localisation permettant

de comparer différentes localisations résidentielles du point de vue de leurs consommations d'énergie pour le transport des personnes. En effet, cet indice a pour vocation de permettre à un utilisateur de comparer différents quartiers du point de vue de leur localisation et pas de la composition de sa population (la consommation énergétique d'un travailleur qui souhaite s'implanter dans un quartier ne dépend pas de l'activité de ses voisins mais bien de la distance à son lieu de travail et des modes de transport disponibles).

7.8. Synthèse

Le tableau suivant synthétise l'ensemble des résultats des variations paramétrées présentées dans ce chapitre. Si ces simulations restent pour certaines théoriques (il n'est par exemple possible de modifier la localisation d'un quartier existant), elles permettent d'identifier, par comparaison, les stratégies les plus efficaces, pour diminuer les consommations d'énergie relatives au transport des personnes (déplacements domicile-travail et déplacements scolaires) et sont utiles dans le cadre du choix de la localisation de nouveaux quartiers.

Tableau 93 : Synthèse des résultats des variations paramétrées « transport » réalisées

	Tintigny	Fontaine	Jambes	Rotheux
Si même localisation que Tintigny	-31,9%	/	-14,9%	- 24,4%
Si même localisation que Fontaine	/	+91,8%	+34,7%	+14,0%
Distances domicile-travail et domicile-école : -10%	-9,7%	-9,8%	-9,7%	-9,6%
Distances domicile-travail et domicile-école : -20%	-19,4%	-19,5%	-19,5%	-19,2%
Distances domicile-travail uniquement : -20%	-17,1%	-16,8%	-17,2%	-15,7%
Distances domicile-école uniquement : -20%	-2,4%	-2,7%	-2,3%	-3,5%
Performances véhicules privés et publics : +10%	-9,2%	-9,2%	-8,7%	-9,5%
Performances véhicules privés et publics : +20%	-18,5%	-18,5%	-17,3%	-18,9%
Performances véhicules publics uniquement : +20%	-1,2%	-1,9%	-1,2%	-1,5%
5% de télétravail	-4,1%	-3,8%	-4,3%	-4,9%
10% de télétravail	-9,5%	-8,1%	-8,9%	-9,1%
Report modal (uniquement travail) : 10%	-3,4%	-2,8%	-3,0%	-3,9%
Report modal (uniquement travail) : 20%	-5,9%	-5,6%	-5,3%	-5,2%
Report modal (travail et école) : 10%	-3,9%	-3,1%	-3,6%	-4,7%
Report modal (travail et	-6,8%	-6,2%	-6,2%	-7,6%

école) : 20%				
Report modal des trajets de > 5 km sur les modes doux	-5,5%	-7,6%	-8,3%	-7,6%
Report modal des trajets > 10 km sur les modes doux	-9,8%	-14,8%	-24,6%	-11,6%
Report modal des trajets > 5 km sur les modes doux et des trajets domicile-travail de 5 à 20 km sur le scooter	-8,6%	-10,5%	-7,5%	-10,7%
Tous les travailleurs temps plein/impact sur dépl. domicile-travail et scolaires	-9,1%	-17,7%	-13,9%	-10,5%

Ces résultats montrent que c'est la localisation au sens large qui a l'impact le plus important sur les consommations d'énergie de transport. La réduction des distances parcourues permet ensuite de réduire de façon significative ces consommations, en diminuant le nombre de kilomètres parcourus en véhicules motorisés mais aussi en encourageant l'usage des modes doux pour les courtes distances. On remarquera particulièrement que la réduction des distances entre le lieu d'habitation et le lieu de travail ou l'école est une stratégie plus efficace que le report modal de la voiture individuelle sur le transport en commun. Il y a donc une certaine incohérence par rapport aux politiques publiques actuelles qui axent la majorité des efforts sur le report modal et pas sur les localisations résidentielles et la reconcentration des fonctions, dont l'habitat, autour de noyaux mixtes. C'est en effet la mixité des fonctions qu'il s'agit de promouvoir car, comme démontré par Fouchier [1997] la mixité et son contraire, la séparation des fonctions dans l'espace, ont aussi une influence sur les parts modales. L'usage des modes lents (marche et vélo) est particulièrement favorisé par la mixité, cela grâce aux courtes distances séparant les diverses fonctions.

En raison de la rigidité du stock bâti, particulièrement en Région wallonne où le taux de renouvellement du bâti est très faible, il est toutefois difficile d'influer, à court terme, sur les distances entre lieu de résidence et lieu de travail. Dans cette optique, favoriser le recours à des véhicules plus performants, encourager le télétravail ou le report modal sur des modes doux, pour les courtes distances, sont des stratégies efficaces en termes de transport. Il s'agit également, à plus long terme, et en termes d'aménagement du territoire, de favoriser la densification de nœuds mixtes bien desservis en transport en commun pour tenter de limiter la dépendance à la voiture qui caractérise les quartiers périurbains.

Les résultats présentés dans ce chapitre sont spécifiques aux quartiers testés et à leur caractéristiques (quartiers essentiellement monofonctionnels, peu denses et hors des centres urbains). Il conviendra dans la suite de la recherche, et particulièrement dans la partie qui traite de la généralisation de l'approche transport à l'ensemble du territoire wallon, d'évaluer l'impact de ces stratégies sur d'autres types de quartier, notamment des quartiers urbains, de façon à étendre les présentes conclusions ou, au contraire, de les moduler selon le type de quartier étudié.

8. La généralisation de l'approche « transport »

8.1. Introduction

Une méthode d'évaluation des consommations d'énergie relatives aux déplacements des personnes a été développée puis appliquée aux quatre quartiers-types de la recherche SAFE. Cette méthode a ensuite permis de réaliser différentes variations paramétrées visant à identifier, dans ces quartiers-types, les stratégies les plus efficaces pour réduire ces consommations d'énergie. Il s'agit maintenant d'étendre cette approche à l'ensemble du territoire périurbain wallon. La méthode utilisée précédemment a donc été appliquée à grande échelle, tant en ce qui concerne les déplacements domicile-travail que les déplacements scolaires, pour lesquels nous disposons de données statistiques. Nous avons également réalisé la généralisation de l'approche développée pour estimer les consommations d'énergie relatives aux trajets domicile-gare, lorsque le train est le mode de transport principal. Trois indices sont définis et calculés sur base de la méthode et des données disponibles : l'indice de localisation, l'indice des parts modales et la distance moyenne parcourue. Chacun des chapitres qui leur sont consacrés ci-dessous (8.2, 8.3 et 8.4) présente d'abord l'index et son calcul, puis les cartes réalisées avec les données de 2001 et de 1991 pour les trois échelles considérées (la commune, l'ancienne commune et le secteur statistique). L'analyse des résultats suit ces cartes. Le chapitre 8.5 aborde les évolutions temporelles en comparant la valeur des différents indices pour les années 1991 et 2001. Le chapitre 8.6 traite des consommations totales agrégées par ancienne commune et le chapitre 8.7 synthétise les principales conclusions.

8.2. L'indice de localisation

8.2.1. Définition

Un indice de localisation est calculé sur base de la méthode développée dans le cadre du projet SAFE [Marique et al. 2010] et des données INS. Afin de mettre en évidence le rôle structurant du territoire sur les consommations d'énergie relatives aux déplacements, le temps de travail des navetteurs n'est pas pris en compte dans le calcul de cet indicateur (voir les variations paramétrées à ce sujet, dans le chapitre 7.7). Cet indice, calculé pour chaque commune, ancienne commune et secteur statistique de la Région wallonne, est exprimé en kWh/personne.an et permet de comparer différentes localisations résidentielles sur base de leurs consommations d'énergie pour les déplacements. Plus l'entité territoriale est colorée en foncé, plus la consommation d'énergie relative au type de déplacements considéré est importante. Cet indice se rapproche de l'index « commute-energy performance index » défini par Boussauw et Witlox [2009] et appliqué au territoire de la Région flamande et de Bruxelles-Capitale. Il vise à investiguer le lien entre structure spatiale et consommation d'énergie pour les déplacements domicile-travail. L'index se base sur les mêmes données INS que notre méthode mais n'aborde que les déplacements domicile-travail et adopte des hypothèses plus restrictives (pas de distinction entre véhicule essence et diesel, données françaises pour la définition des facteurs de consommation, pas de prise en compte du trajet domicile-gare, etc.).

8.2.2. Les déplacements domicile-travail

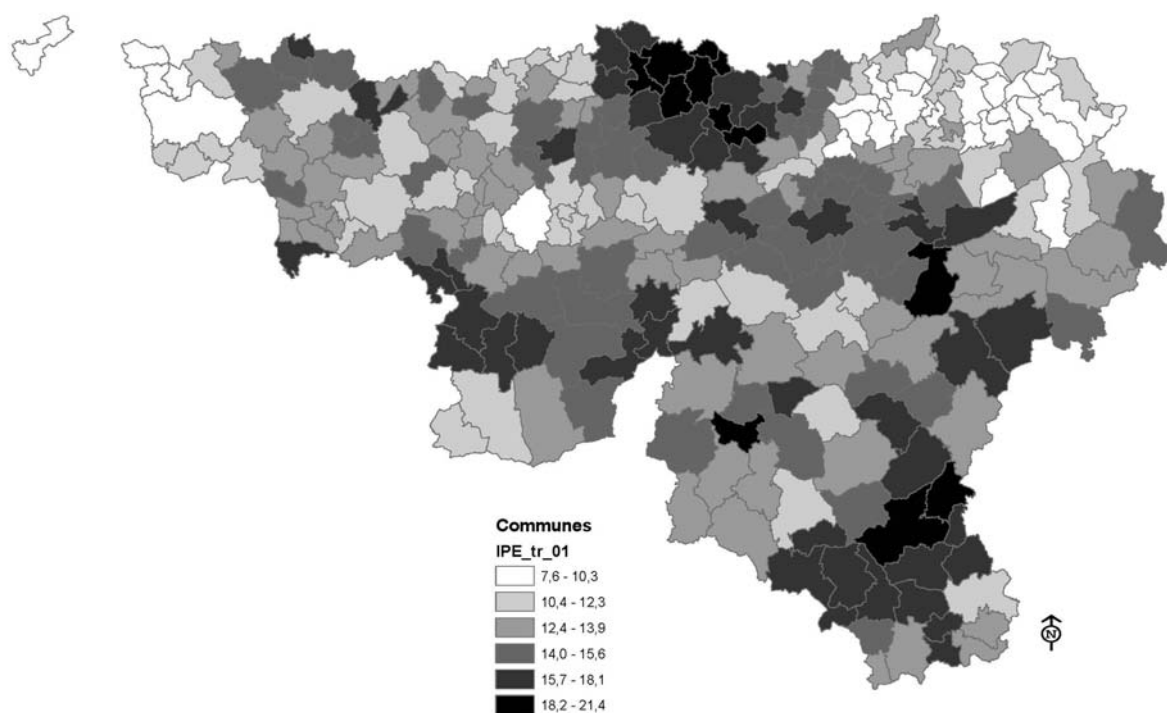


Figure 49 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de la commune, données INS de 2001.

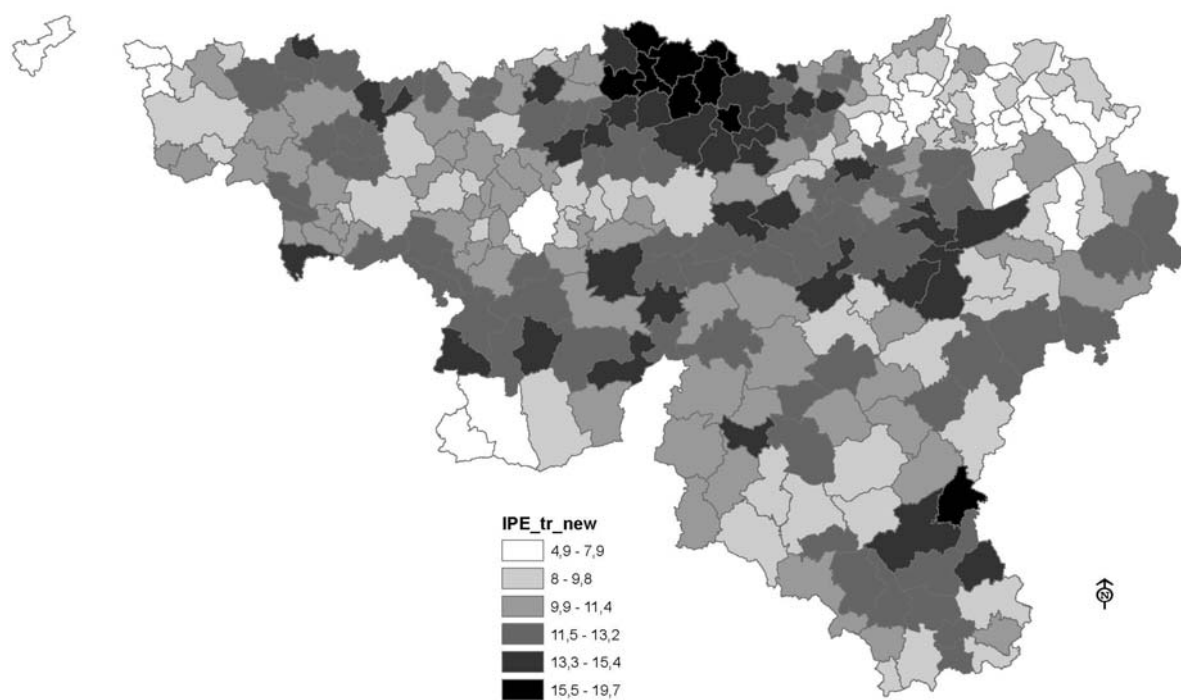


Figure 50 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de la commune, données INS de 1991.

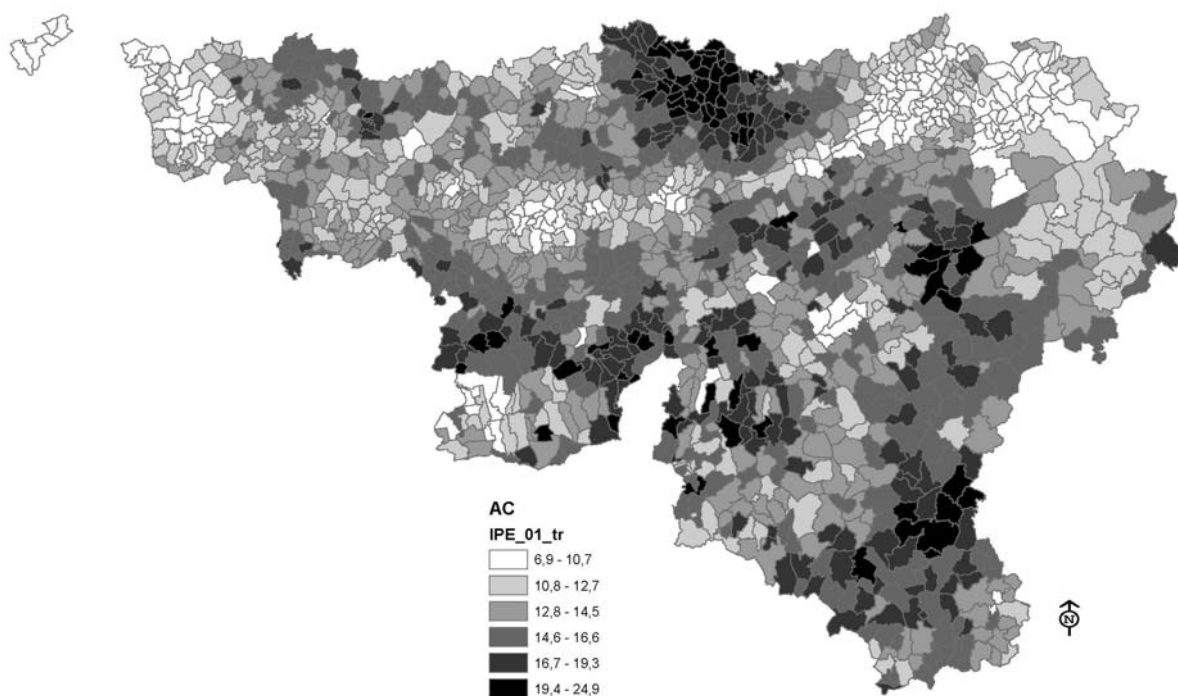


Figure 51 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 2001

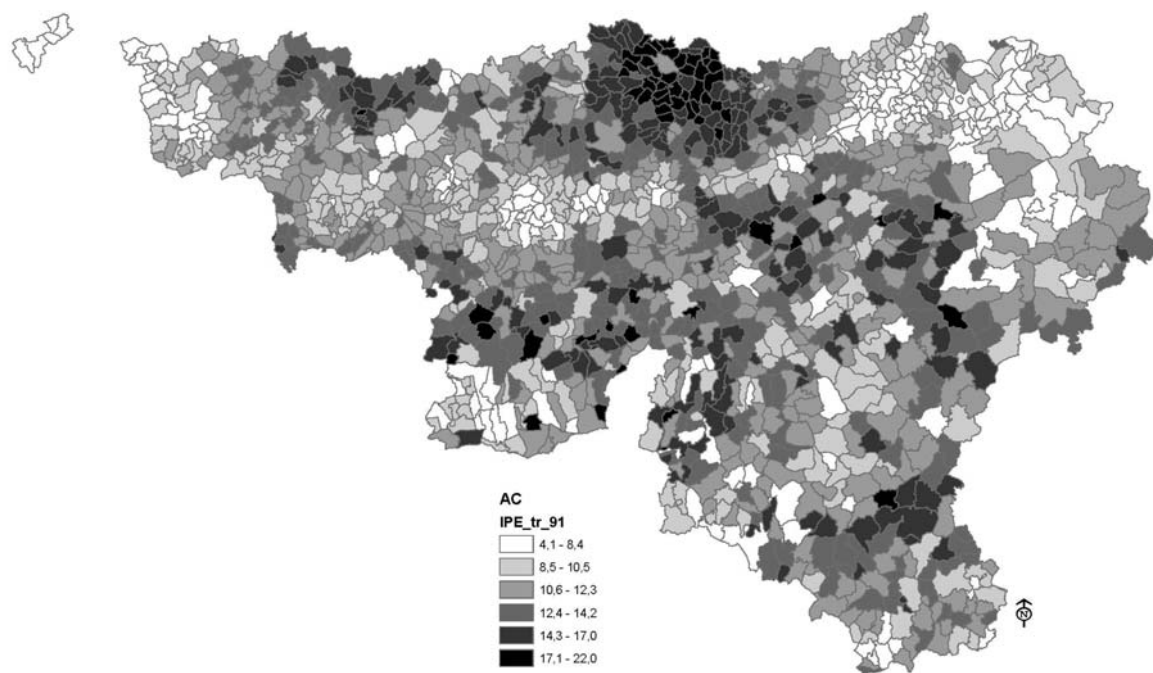


Figure 52 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 1991

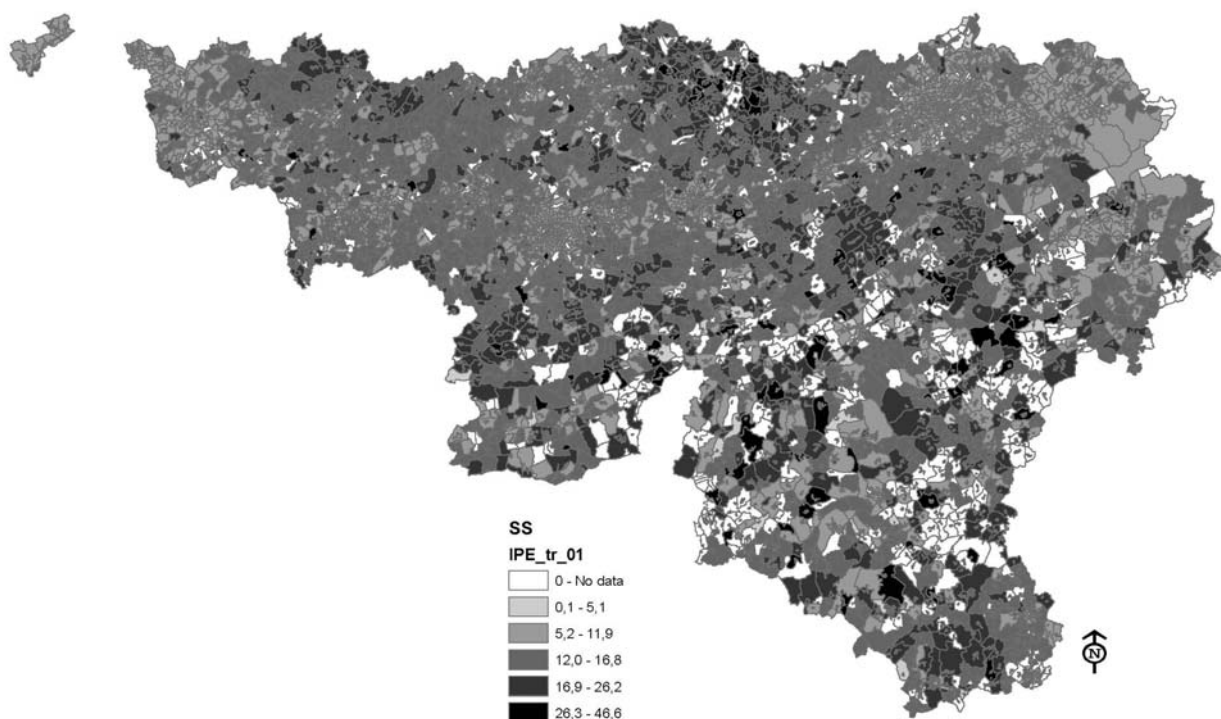


Figure 53 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001

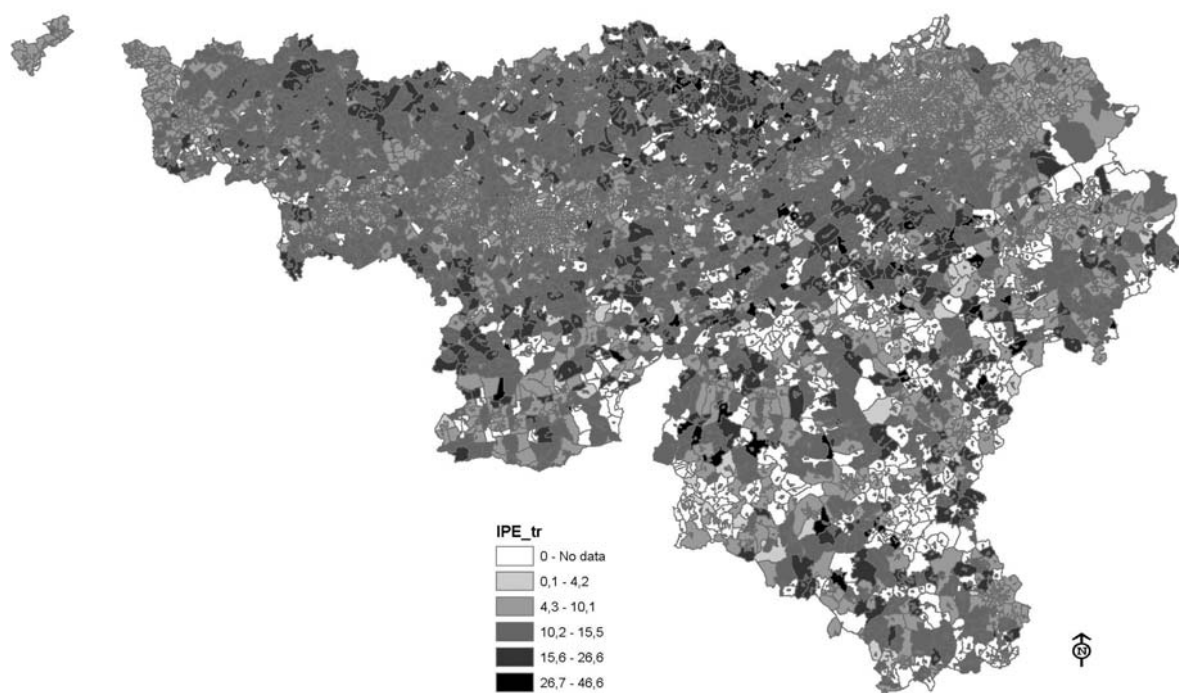


Figure 54 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991

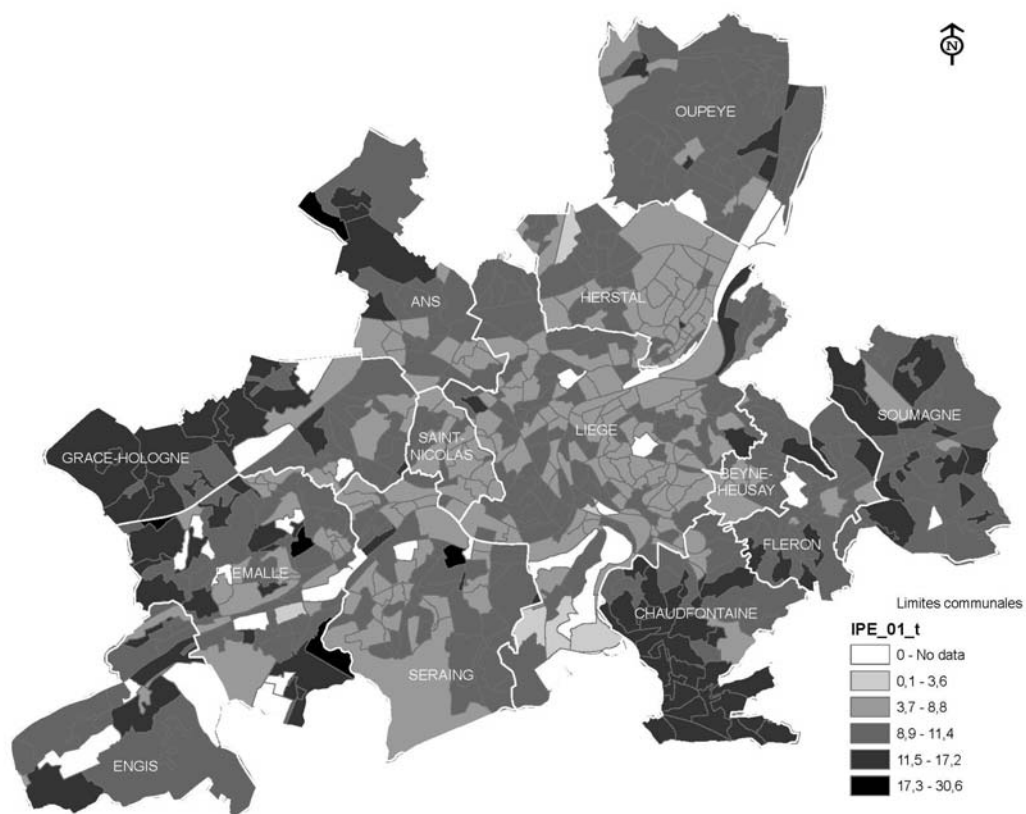


Figure 55 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001, zoom sur la région urbaine de Liège

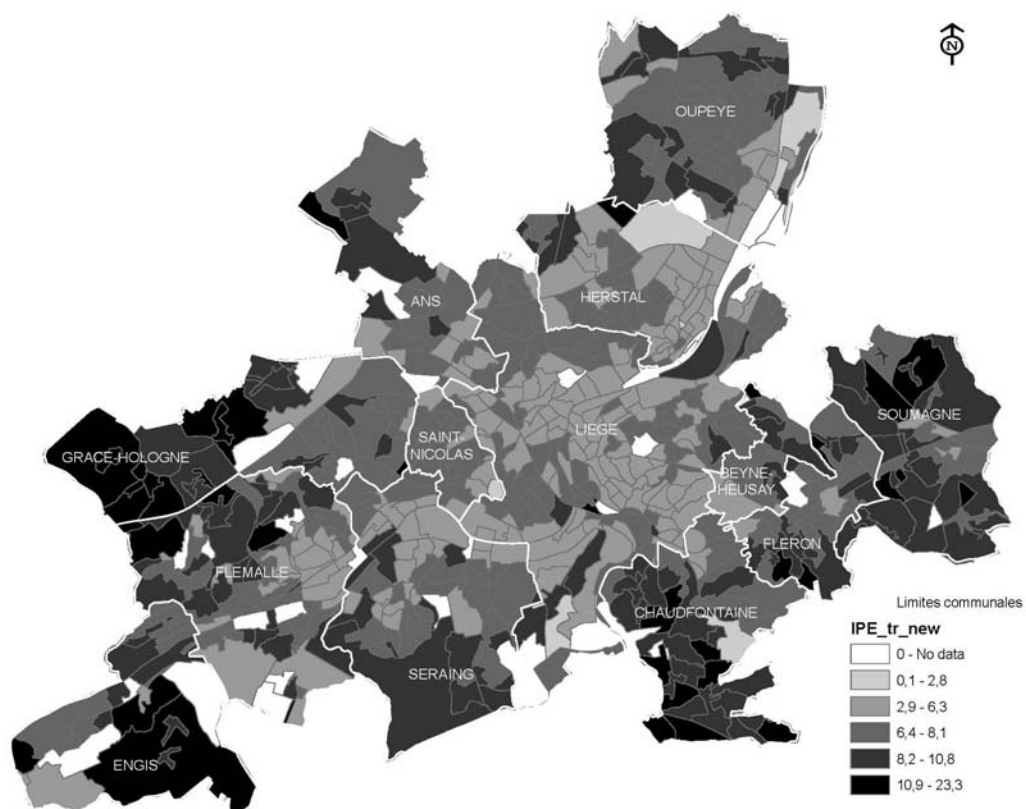


Figure 56 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991, zoom sur la région urbaine de Liège

L'indice de localisation, cartographié⁸, pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de la commune, permet de mettre en évidence, tant en 1991 qu'en 2001, le bon comportement des communes les plus denses et peuplées de la Région wallonne, à savoir celles situées le long de l'ancien sillon industriel, de Mouscron jusqu'aux cantons de l'est, et particulièrement autour de Liège. Les communes de taille moyenne (pôles secondaires) situées le long de ce sillon (Verviers, La Louvière) ou dans le sud de la Région, (comme Marche, Arlon ou Bastogne) présentent également un bon comportement. Certaines communes frontalières de l'est (proximité de l'Allemagne) ou du nord-ouest (proximité de la Flandre) semblent également peu consommatrices, en termes d'énergie consommée pour les déplacements domicile-travail mais les effets « frontières » pourraient intervenir. Il est en effet probable que dans les régions proches de la Flandre ou de l'Allemagne et en raison de problèmes linguistiques, les navetteurs soient moins enclins à chercher du travail à l'étranger et parcourent donc de moins longues distances. Les communes qui présentent les plus fortes consommations sont localisées dans la périphérie sud-est de Bruxelles, qu'elles soient situées dans les provinces de Brabant wallon, de Liège ou de Namur, et dans le sud-Luxembourg, ainsi qu'à proximité d'Arlon et du Grand-Duché du Luxembourg (orbite de Luxembourg-Ville). Ce sont en général des communes à caractère périurbain ou rural. On peut ainsi déceler dans cette première carte l'influence des centres urbains, où se concentrent les emplois sur les consommations d'énergie des déplacements domicile-travail. Les communes les plus « consommatrices » sont en effet des communes périphériques, où les distances à parcourir pour se rendre dans le pôle le plus proche (Bruxelles, Liège, Charleroi, Namur, Luxembourg essentiellement) sont importantes.

Afin d'étayer ces premières observations, nous avons confronté, dans un premier temps, notre cartographie de l'indice de localisation, pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de la commune avec une définition couramment utilisée dans les études et enquêtes traitant de la Région wallonne : la hiérarchie urbaine des communes wallonnes proposée par Van der Haegen et al. [1996] (actualisation de la première définition de Van der Haegen et Pattyn, [1979]). Cette hiérarchie urbaine propose de classer les communes wallonnes en 4 catégories :

- Les agglomérations morphologiques regroupent les ensembles de bâti continus (moins de 250 mètres entre constructions) composés des villes centrales (noyau urbain et quartiers urbains à construction très dense) et la couronne urbaine. Elles sont au nombre de sept en Région wallonne (1.383 secteurs statistiques, 536,1 km², 3,17% du territoire wallon). Les agglomérations opérationnelles sont définies de la même façon mais leurs limites sont adaptées aux frontières communales (2.260 secteurs statistiques, 1.478 km², 8,75% du territoire wallon) ;
- Les banlieues sont des zones de développement et de prospérité relative ayant de solides liens bilatéraux avec le centre-ville. Cette définition, assez vague, a fait l'objet d'une cartographie précise (1.762 secteurs statistiques, 2.374,1 km², 14,05% du territoire) ;
- Les zones résidentielles des migrants alternants sont des zones dans lesquelles au moins 15% de la population active migre quotidiennement vers l'agglomération [Dubois et Hanin, 2005] (1.959 secteurs statistiques, 3.421,54 km², 20,24% du territoire) ;

⁸ Sauf mention contraire (pour les comparaisons travail / école), les échelles graphiques utilisées sur les cartes présentées dans ce chapitre sont issues de Arcmap et classées selon le critère « natural break » qui vise à ce que la moyenne de chaque classe soit la plus proche possible des différentes valeurs de cette classe et diffèrent donc entre 1991 et 2001.

- Les autres communes ne sont pas classées. Elles recouvrent donc une série de réalités différentes (zone rurale, périurbaine, Arlon, etc.) et ne sont donc pas prise en compte ici.

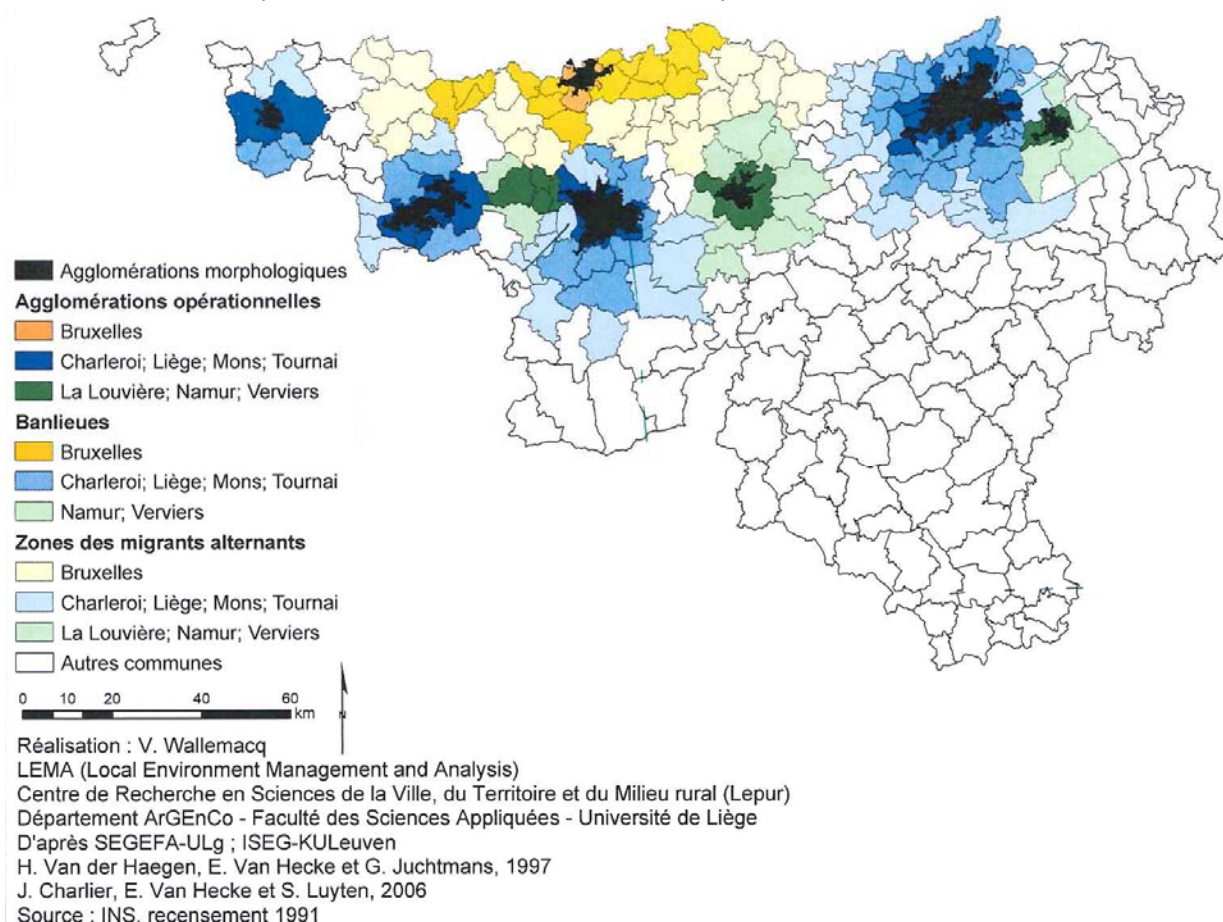


Figure 57 : Cartographie des régions urbaines de Wallonie, sur base de Van der Haegen et al. [1996]

Tableau 94 : Calcul de l'indice de localisation moyen [kWh/p.an] selon la classification des communes de Van der Haegen et al [1996] (AgO = agglomérations opérationnelles, Ba = banlieues, MA = zones des migrants alternants), en 1991, en 2001, et évolution temporelle

IPE [kWh/p.an] Domicile-travail	1991			2001			Δ		
	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA
Moyenne	8,3	11,0	12,1	10,4	12,9	14,2	2,1	1,9	2,1
(Bruxelles)	10,4	11,4	13,1	11,5	12,7	15,1	1,1	1,3	2,0
Charleroi	8,1	11,1	11,3	10,3	13,5	13,9	2,2	2,4	2,6
Liège	7,2	10,6	11,6	9,4	12,7	14,0	2,2	2,1	2,4
Mons	9,9	11,1	12,1	12,2	12,9	12,0	2,3	1,8	-0,1
Namur	9,3	11,9	12,5	10,8	13,8	14,2	1,5	1,9	1,7
La Louvière	9,3	-	10,4	12,1	-	13,4	2,8	-	3,0
Tournai	8,1	10,0	9,5	9,6	11,6	11,0	1,5	1,6	1,5
Verviers	6,6	9,5	7,4	8,8	12,0	9,2	2,2	2,5	1,8

L'indice de localisation moyen, calculé pour chacune des trois régions urbaines définies par Van der Haegen et al. [1996] croît sensiblement avec l'éloignement à la ville centre, alors que les territoires relatifs à chaque agglomération sont de superficie sensiblement différente. Ce sont en effet les agglomérations opérationnelles qui présentent les indices les plus bas. Liège, Charleroi, Tournai et Verviers se distinguent particulièrement par des valeurs inférieures aux autres agglomérations opérationnelles, tant en 1991 qu'en 2001. Bruxelles présente, pour les trois régions urbaines la concernant et situées en Wallonie, les valeurs les plus élevées. On remarquera une tendance à l'augmentation de ces différentes valeurs entre 1991 et 2001.

Le tableau suivant reprend, dans sa partie gauche, les 30 communes les plus performantes (c'est-à-dire celles présentant l'indice de localisation pour les déplacements domicile-travail le plus faible), en 1991 et en 2001, et, dans sa partie droite, les 30 communes les plus énergivores (celles où l'indice de localisation est le plus élevé). Les communes surlignées en jaune appartiennent aux agglomérations morphologiques de Van der Haegen et al. [1996], celles surlignées en vert aux banlieues et celles surlignées en rose aux zones de migrants alternants. Les lettres entre crochets indiquent à quelle ville elles se rapportent ([Lg] = Liège, [Ve] = Verviers, [Ch] = Charleroi, [To] = Tournai, [Na] = Namur, [Bxl] = Bruxelles).

Tableau 95 : Liste des 30 communes les mieux classées et des 30 communes les moins bien classées, en termes de consommation d'énergie pour les déplacements domicile-travail, en 1991 et en 2001.

Les 30 communes les mieux classées				Les 30 communes les moins bien classées			
1991		2001		1991		2001	
EUPEN	4,9	EUPEN	7,6	EREZEE	13,9	FROIDCHAPELLE	16,7
MOUSCRON	5,5	MOUSCRON	7,7	MANHAY	14,0	PERWEZ [Bxl]	16,7
MALMEDY	5,8	DISON [Ve]	8,4	LASNE [Bxl]	14,0	GESVES [Na]	16,7
COMINES	6,2	COMINES	8,5	CHASTRE [Bxl]	14,2	VAUX-SUR-SURE	16,7
HERSTAL [Lg]	6,3	HERSTAL [Lg]	8,6	DOISCHE	14,3	CERFONTAINE [Ch]	16,8
WELKENRAET	6,3	SAINT-NICOLAS [Lg]	8,7	EGHEZEE [Na]	14,3	ETALLE	16,8
DISON [Ve]	6,3	VERVIERS [Ve]	8,7	HERON	14,5	SILLY [Bxl]	17,0
SPA	6,4	LIMBOURG [Ve]	8,8	WALHAIN [Bxl]	14,5	CHINY	17,1
LIMBOURG [Ve]	6,5	LIEGE [Lg]	8,9	PERWEZ [Bxl]	14,6	ATTERT	17,1
LIEGE [Lg]	6,5	WELKENRAEDT	9,0	HANNUT [Bxl]	14,6	MARTELANGE	17,1
VERVIERS [Ve]	6,5	SERAING [Lg]	9,0	GREZ-DOICEAU [Na]	14,7	HASTIERE	17,2
SAINT-NICOLAS [Lg]	6,7	BAELEN	9,2	FERRIERES [Lg]	14,8	SIVRY-RANCE	17,3
AUBEL	7,1	BEYNE-HEUSAY [Lg]	9,3	GESVES [Na]	14,8	HERON	17,5
SERAING [Lg]	7,1	ANS [Lg]	9,5	CERFONTAINE [Ch]	14,8	FERRIERES [Lg]	17,6
PEPINSTER [Ve]	7,4	PEPINSTER [Ve]	9,6	FERNELMONT [Na]	14,9	BRAIVES	17,9
CHIMAY	7,5	TOURNAI [To]	9,6	BRAIVES	15,1	HANNUT [Bxl]	17,9
BAELEN	7,5	KELMIS/LACALAMINE	9,6	SILLY [Bxl]	15,3	BEAUVECHAIN [Bxl]	18,0
ANS [Lg]	7,5	SPA	9,7	DAVERDISSE	15,3	DOISCHE	18,1
CHARLEROI [Ch]	7,6	ETAIMPUIS	9,7	BURDINNE	15,3	JODOIGNE [Bxl]	18,5
BEYNE-HEUSAY [Lg]	7,7	CHARLEROI [Ch]	9,8	LEGLISE	15,4	INCOURT [Bxl]	18,7
HERVE	7,7	MALMEDY	9,9	FAUVILLERS	16,0	MANHAY	19,0
MOMIGNIES	7,8	GRACE-HOLLOGNE [Lg]	9,9	CHAUMONT [Bxl]	16,0	LEGLISE	19,0

FLEMALLE [Lg]	7,8	FLEMALLE [Lg]	9,9	JODOIGNE [Bxl]	16,0	WASSEIGES [Bxl]	19,1
WISE [Lg]	7,8	AUBEL	10,0	BEAUVECHAIN[Bxl]	16,3	BURDINNE	19,3
ESTAIMPUIS	7,9	HERVE	10,1	HELECINE[Bxl]	16,4	DAVERDISSE	19,7
KELMIS/LA CALAM.	7,9	PECQ [To]	10,2	INCOURT [Bxl]	16,8	HELECINE [Bxl]	20,3
FLERON [Lg]	7,9	OUPEYE [Lg]	10,2	WASSEIGES [Bxl]	16,9	LINCENT [Bxl]	20,4
OUPEYE [Lg]	8,0	THIMISTER CLERM. [Ve]	10,2	ORP-JAUCHE [Bxl]	18,9	FAUVILLERS	21,2
ENGIS [Lg]	8,0	FLERON [Lg]	10,2	LINCENT [Bxl]	19,3	ORP-JAUCHE [Bxl]	21,4
TOURNAI [Lg]	8,1	ENGIS [Lg]	10,2	RAMILLIES [Bxl]	19,7	RAMILLIES [Bxl]	21,4

Parmi les 15 communes les mieux classées, en 1991, sept communes appartiennent aux agglomérations opérationnelles de Liège et Verviers. En 2001, ce nombre passe à 9. La ville de Charleroi pointe en 15^{ème} position en 1991 et en 16^{ème} en 2001. On retrouve dans le classement de 1991, une commune appartenant à une banlieue (Pepinster) et une commune appartenant à une zone de migrants alternants (Visé). Dans le classement de 2001, trois communes de banlieues se distinguent. Eupen, Comines, Mouscron et Herstal sont classées dans le top 5 tant en 1991 qu'en 2001. Des pôles secondaires présentent également de bons indices de localisation (Malmedy, Spa, Chimay). Les communes les moins bien classées sont préférentiellement situées dans l'orbite de Bruxelles (Ramillies, Orp-Jauche, Helecine, etc.). Il s'agit de commune à caractère résidentiel. La différence entre l'indice de localisation des communes les plus performantes et celui des communes les plus énergivores est significatif. A titre indicatif, la moyenne wallonne (moyenne des indices qui prend en compte le « poids » des communes via le nombre d'actifs occupés) est de 9,8 kWh/personne.an en 1991 et de 12,1 kWh/personne.an en 2001. La tendance est donc à l'hausse et caractérise une plus grande diffusion des déplacements domicile-travail.

Cette classification met une nouvelle fois en évidence le rôle de la structure du territoire sur l'indice de localisation des déplacements domicile-travail, et en particulier l'éloignement des lieux de résidence aux villes-centres (lieux d'emplois) comme facteur déterminant. Plus la distance à une agglomération augmente, plus la commune consomme de l'énergie pour les déplacements domicile-travail, et ce d'autant plus que la ville-centre possède un pouvoir d'attraction fort (comme Bruxelles).

Cette première analyse est ensuite affinée en passant à l'échelle de l'ancienne commune puis à celle du secteur statistique car un bon indice de localisation à l'échelle d'une commune peut cacher des réalités très diverses entre quartiers (quartiers centraux vs. quartiers périphériques au sein d'une même commune, centre villageois dans une commune fortement touchée par l'étalement urbain, etc.). La cartographie à l'échelle de l'ancienne commune permet de mettre en évidence ces disparités au sein d'une même commune et laisse ainsi apparaître le meilleur comportement de certaines zones centrales ou villages. C'est le cas, sur la figure suivante pour les centres de Libramont, Malmédy et Paliseul qui se distinguent des anciennes communes périphériques à caractère plus rural ou périurbain (la limite de ces communes est représentée en jaune sur la figure suivante). Il s'agira donc dans notre définition du territoire périurbain wallon de se détacher des limites communales et d'aborder la question de la définition du périurbain, en lien avec les caractéristiques du bâti, en des termes morphologiques plutôt qu'administratifs comme dans la définition de Van der Haegen et al. [1996].

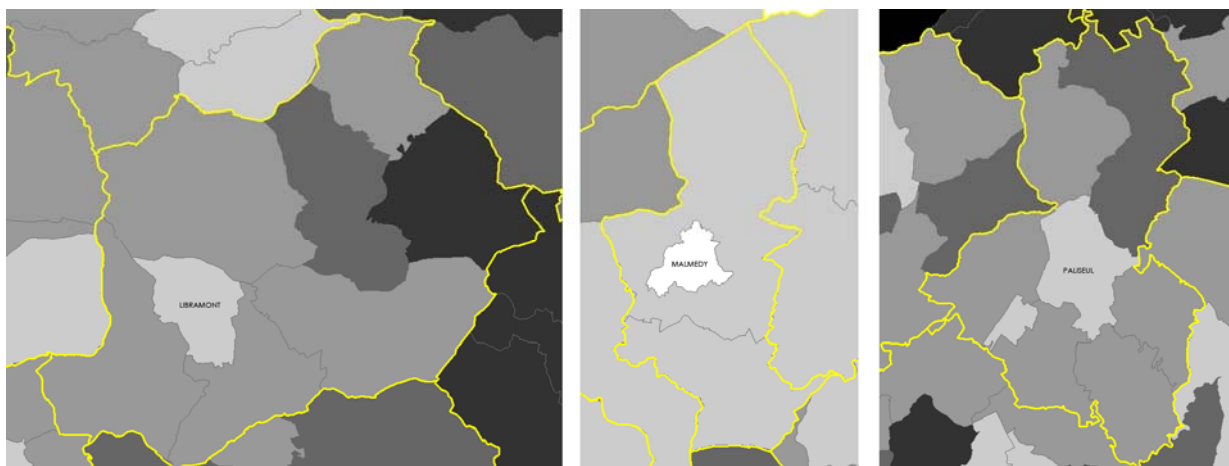


Figure 58 : Calcul de l'IPE, à l'échelle de l'ancienne commune pour les entités de Libramont, Malmedy et Paliseul, déplacements domicile-travail, données INS de 2001 ; mise en évidence des disparités entre anciennes communes au sein d'une même commune (les cartes ne sont pas à la même échelle).

La cartographie à l'échelle du secteur statistique permet d'affiner encore l'analyse. Bien que plus difficilement lisible à l'échelle de la Région wallonne, l'approche à l'échelle du secteur statistique permet de mettre en évidence les comportements différents de différents quartiers d'une même ville. Le zoom réalisé sur la région urbaine de Liège met clairement en évidence un meilleur comportement des quartiers centraux de la ville par rapport aux quartiers plus périphériques de Liège (par exemple Saint Lambert vs. Rocourt) et de ces quartiers urbains ainsi que des quartiers denses situés en bord de Meuse des communes d'Herstal, de Saint-Nicolas et de Seraing, par rapport aux quartiers et communes plus périphériques et touchées par la périurbanisation (Soumagne, Chaudfontaine, etc.). On observe le même phénomène pour les autres villes wallonnes, et notamment celle de Namur (Figure ci-dessous).

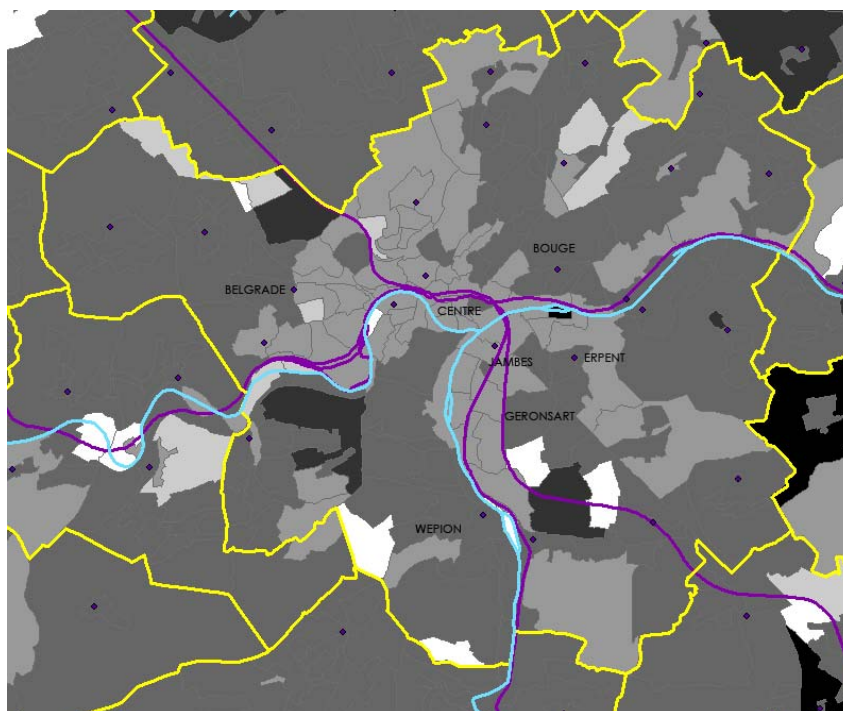


Figure 59 : Calcul de l'IPE pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle du secteur statistique, données de 2001, Zoom sur Namur (limites communales en jaune, rail en mauve, fleuves en bleu)

Par ailleurs, les zooms sur la région urbaine de Liège et sur la commune de Namur, permettent également de mettre en évidence la localisation des secteurs statistiques les plus performants en lien avec le développement historique des villes et de ses infrastructures. Les quartiers les moins consommateurs sont des quartiers anciens, centraux, bien équipés qui se sont développés préférentiellement le long des fleuves et des infrastructures de chemin de fer. On peut intuitivement y déceler un impact de la mixité et des infrastructures pour limiter les déplacements motorisés et surtout la longueur de ceux-ci. Ces analyses seront approfondies dans les sections suivantes qui traitent des distances parcourues et des parts modales.

La cartographie à l'échelle du secteur statistique permet enfin de déceler des phénomènes « auréolaires » aussi à l'échelle de plus petits pôles, notamment dans la province du Luxembourg et de Brabant wallon en faisant apparaître quelques noyaux au bon comportement, alors que ces spécificités locales sont gommées dans les cartes relatives aux autres échelles territoriales. On voit ainsi sur la figure suivante que le centre de Nivelles (à droite) se comporte mieux que les zones périphériques résidentielles. A gauche, le centre d'Houffalize (gris clair) présente de meilleures valeurs que les zones plus éloignées où se développent plutôt de l'habitat peu dense de type « 4 façades ».

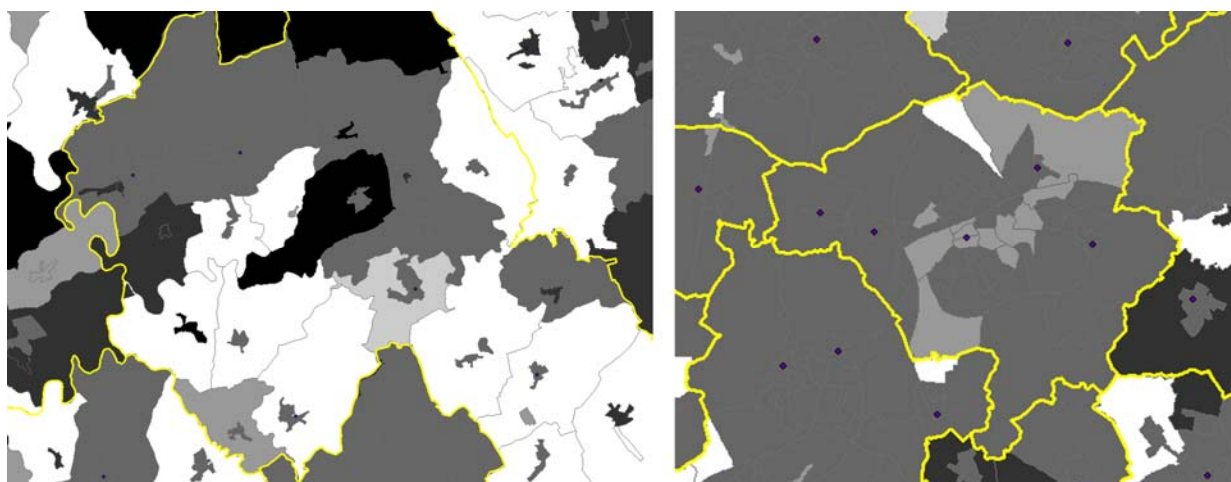


Figure 60 : Calcul de l'IPE pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001. Zoom sur Nivelles à droite et Houffalize à gauche (les cartes ne sont pas à la même échelle, les secteurs statistiques en blanc sont ceux pour lesquels il n'y a pas données).

Enfin, outre l'analyse territoriale qui peut être tirée des cartes réalisées à l'échelle de la Région wallonne, les développements présentés ci-dessous seront également exploités dans l'outil final à fournir dans le cadre du projet de recherches SAFE. L'indice de localisation permettra ainsi à un utilisateur ou futur acquéreur de rapidement comparer, via une interface appropriée, l'impact de différentes localisations résidentielles en termes de consommations énergétiques relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école. Il pourrait également être envisageable de développer un module qui permette à l'utilisateur d'entrer ses propres données (lieu de travail, distances parcourues, fréquence, mode, etc.) pour une évaluation plus précise de ses consommations de transport.

8.2.3. Les déplacements scolaires

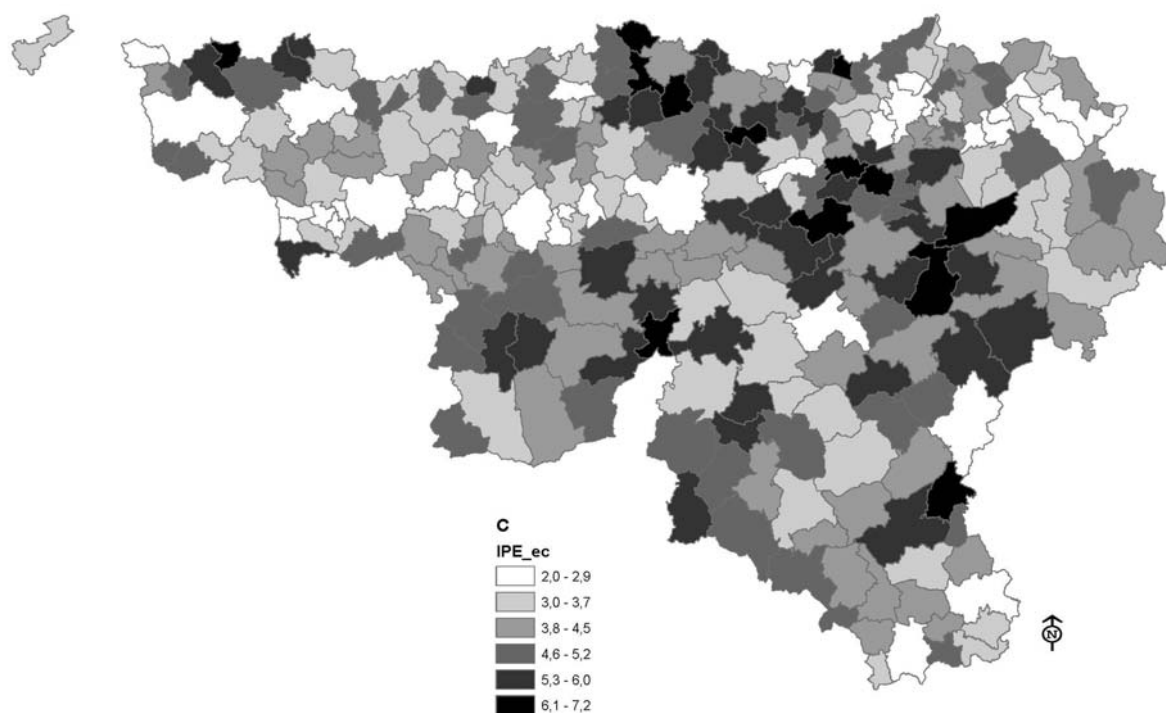


Figure 61 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-école, à l'échelle de la commune, données INS de 2001.

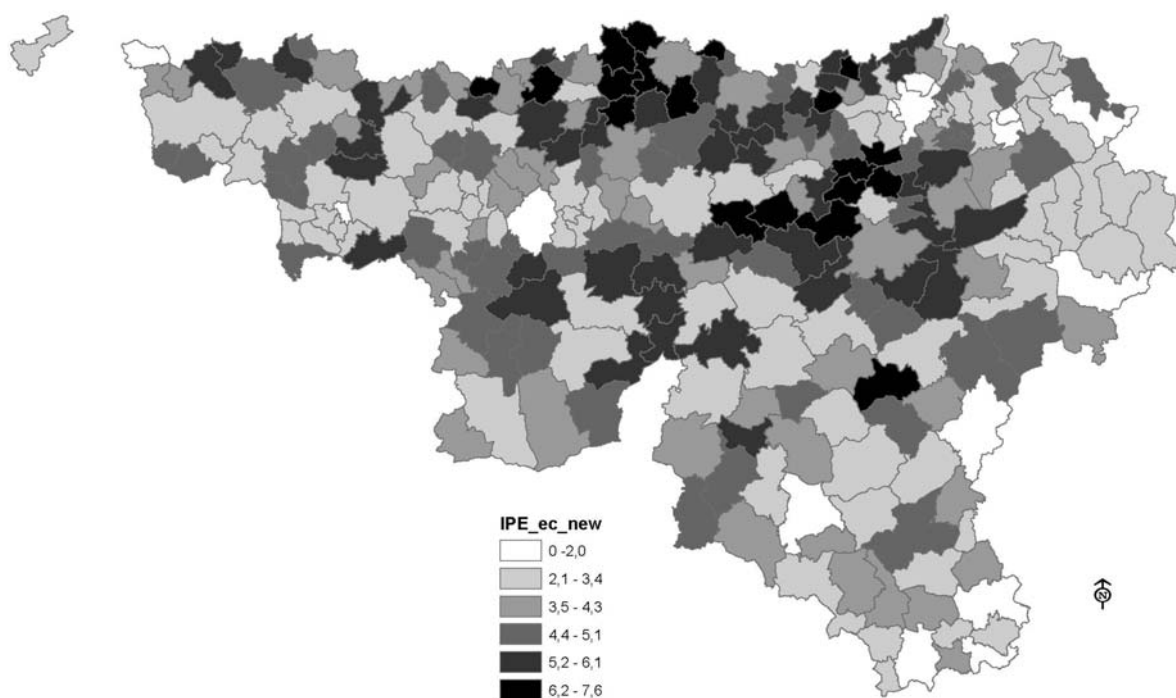


Figure 62 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-école, à l'échelle de la commune, données INS de 1991.

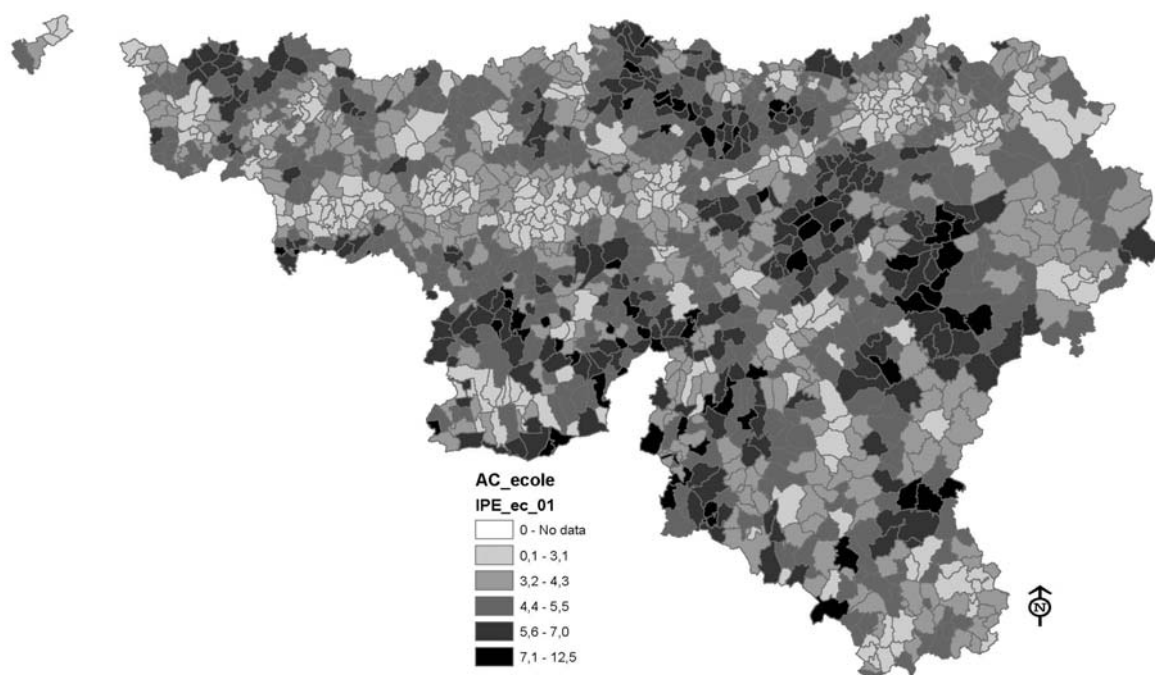


Figure 63 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-école, à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 2001

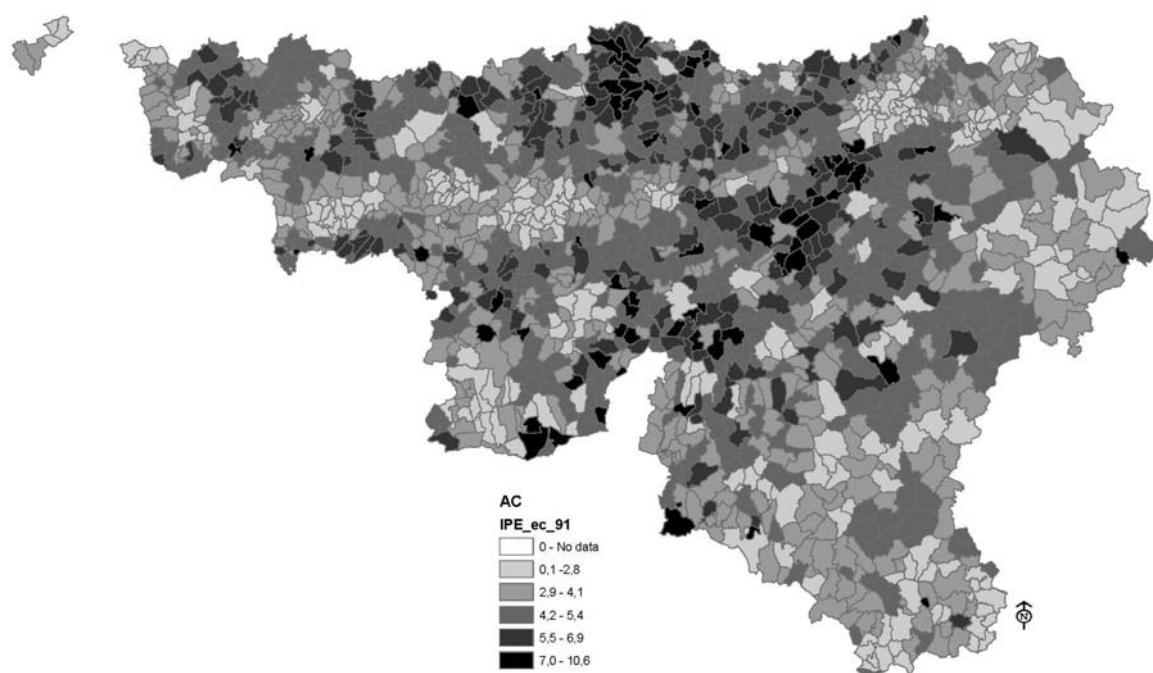


Figure 64 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-école, à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 1991

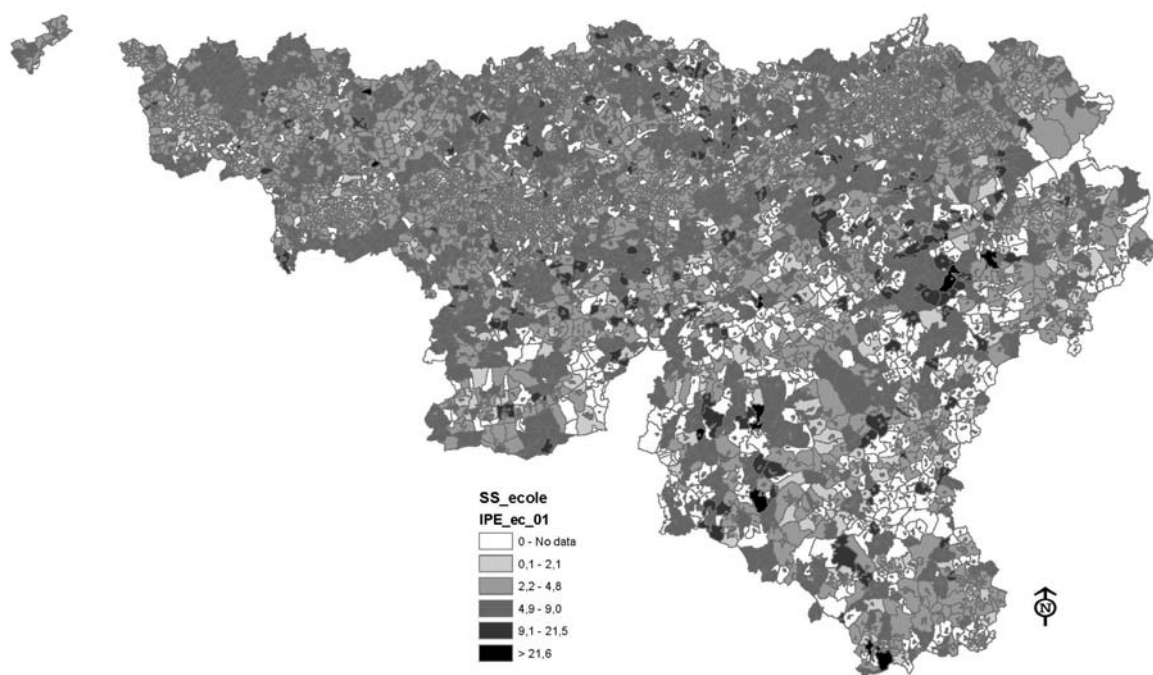


Figure 65 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-école, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001

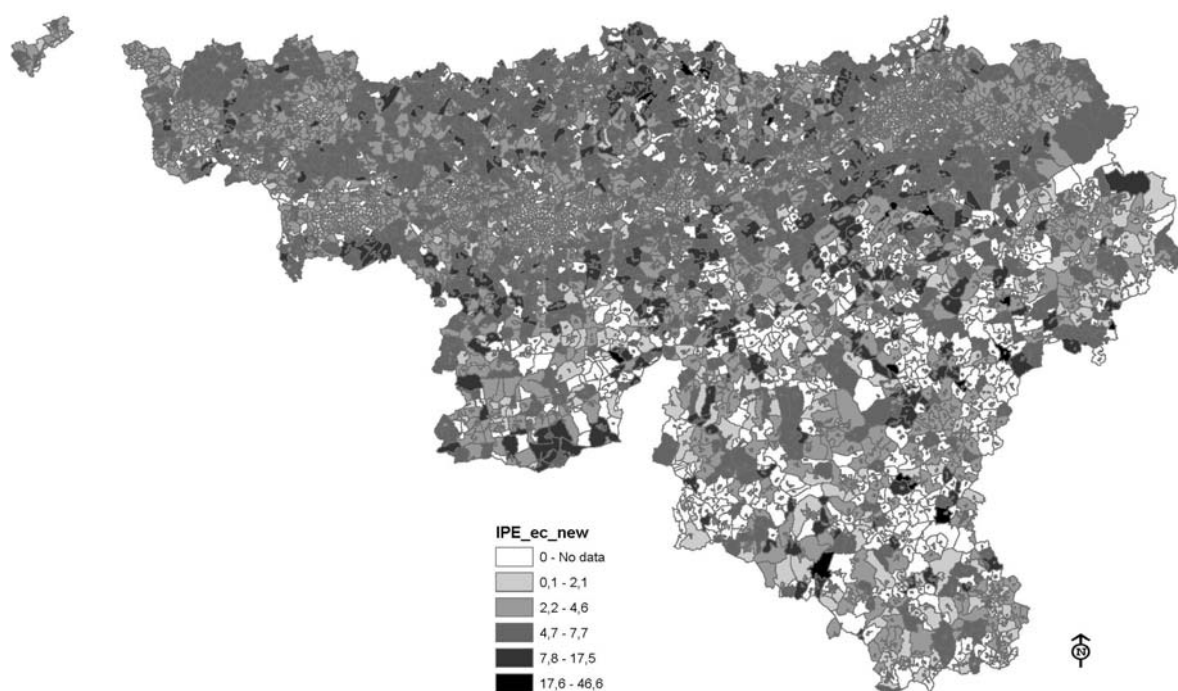


Figure 66 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-école, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991

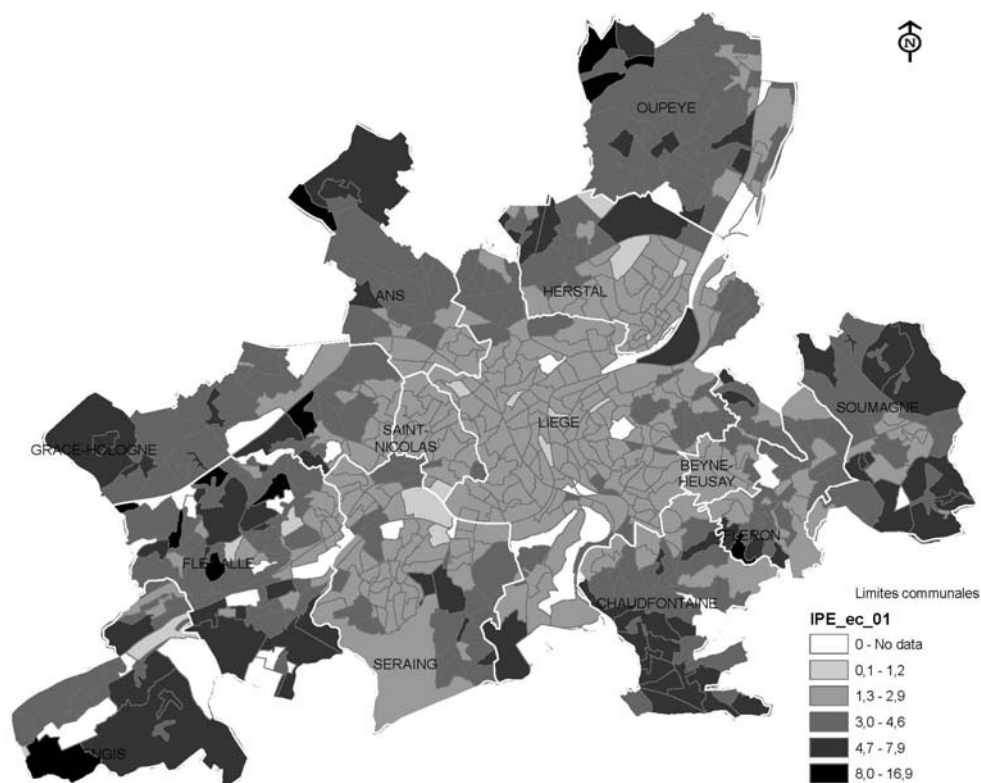


Figure 67 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-école, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001, zoom sur la région urbaine de Liège



Figure 68 : Indice de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-école, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991, zoom sur la région urbaine de Liège

Cette section présente les cartographies de l'indice de localisation [kWh/personne.an] calculé pour les déplacements domicile-école, à l'échelle de la commune, puis de l'ancienne commune et du secteur statistique (pour l'ensemble de la Région wallonne puis pour la région urbaine de Liège). Seules les cartes de 1991 sont disponibles actuellement. Les cartes relatives aux données de 2001 seront intégrées ultérieurement (en attente des données).

Tableau 96 : Calcul de l'indice de localisation moyen pour les déplacements domicile-école [kWh/p.an] selon la classification des communes de Van der Haegen et al [1996] (AgO = agglomérations opérationnelles, Ba = banlieues, MA = zones des migrants alternants), 1991, 2001, évolution temporelle

IPE [kWh/p.an] Domicile-école	1991			2001			Δ		
	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA
Moyenne	2,4	4,5	4,2	2,7	4,2	4,2	0,3	-0,3	0
(Bruxelles)	3,9	4,5	4,5	3,6	3,7	4,2	-0,3	-0,8	-0,3
Charleroi	2,2	4,2	3,8	2,6	4,2	4,4	0,4	0	0,6
Liège	2,3	4,9	4,4	2,7	4,8	4,1	0,4	-0,1	-0,3
Mons	2,3	4,4	3,6	2,7	4,1	3,2	0,4	-0,3	-0,4
Namur	2,6	4,8	4,6	2,7	4,0	4,3	0,1	-0,8	-0,3
La Louvière	2,4	-	3,3	2,7	-	3,6	0,3	-	0,3
Tournai	2,6	4,2	5,2	2,9	4,2	5,3	0,3	0	0,1
Verviers	2,0	4,3	3,8	2,3	4,1	4,1	0,3	-0,2	0,3

Contrairement aux déplacements domicile-travail, l'indice de localisation des déplacements domicile-école ne semble pas augmenter continuellement avec la distance au centre. Pour la plupart des villes wallonnes, l'indice moyen des banlieues est supérieur à l'indice moyen des agglomérations morphologiques mais est inférieur à l'indice moyen des zones de migrants alternants ce qui pourrait signifier que les villes-centre ont un pouvoir d'attraction moins important pour les déplacements scolaires que pour les déplacements domicile-travail. De nombreuses écoles (primaires et secondaires) sont en effet localisées dans les communes wallonnes, qu'elles que soient leur taille ce qui tend à diminuer la distance des déplacements et l'attrait des villes centres, sauf en ce qui concernent les études supérieures (Hautes Ecoles, Universités).

Tableau 97 : Liste des 30 communes les mieux classées et des 30 communes les moins bien classées, en termes de consommation d'énergie pour les déplacements domicile-école, en 1991 et en 2001. Les communes surlignées en jaunen appartiennent à des agglomérations morphologiques, celles surlignées en vert à des banlieues et celles surlignées en rose à des zones de migrants alternants (Lg = Liège, Ve = Verviers, Bxl = Bruxelles, Mo = Mons, To = Tournai, Na = Namur et Ch = Charleroi)

Les 30 communes les mieux classées				Les 30 communes les moins bien classées			
1991		2001		1991		2001	
VIRTON	1,5	EUPEN	2,0	FERNELMONT [Na]	5,7	CERFONTAINE [Ch]	5,7
EUPEN	1,6	VERVIERS [Lg]	2,1	GENAPPE [Bxl]	5,7	FERRIERES [Lg]	5,8

SAINT-NICO [Lg]	1,6	SAINT-NICOLAS [Lg]	2,2	ASSESE [Na]	5,8	HONNELLES [Mo]	5,8
LIEGE [Lg]	1,6	LIEGE [Lg]	2,2	OREYE	5,8	FROIDCHAPELLE	5,8
ARLON	1,7	DISON [Lg]	2,3	HOUYET	5,8	HAVELANGE	5,8
VERVIERS [Ve]	1,9	HERSTAL [Lg]	2,3	PERWEZ [Bxl]	5,9	VRESSE-SURSE	5,8
AUBANGE	1,9	MOUSCRON	2,3	VERLAINE [Lg]	6,0	VERLAINE [Lg]	5,9
BASTOGNE	1,9	BOUSSU [Mo]	2,4	CELLES [To]	6,0	TINLOT [Lg]	5,9
QUAREGNON [Mo]	1,9	CHARLEROI [Ch]	2,4	HAVELANGE	6,0	DAVERDISSE	5,9
CHARLEROI [Ch]	1,9	SERAING [Lg]	2,4	ITTRE [Bxl]	6,1	TENNEVILLE	5,9
HERSTAL [Lg]	1,9	CHATELET [Ch]	2,4	HERON	6,1	CELLES [To]	5,9
MOUSCRON	2,0	OTTIGNIES-LLN [Bxl]	2,5	TENNEVILLE	6,2	HOUFFALIZE	5,9
BERTRIX	2,0	QUAREGNON	2,5	OHEY	6,2	WASSEIGES [Bxl]	6,0
SAINT-VITH	2,0	MONS	2,5	BRAINE-LE-CH [Bxl]	6,2	LINCENT [Bxl]	6,0
DISON [Ve]	2,0	HUY	2,5	CRISNEE [Lg]	6,3	DOISCHE	6,0
SERAING [Lg]	2,1	LA LOUVIERE	2,5	ANTHISNES [Lg]	6,3	GOUVY	6,0
FARCIENNES [Ch]	2,1	ARLON	2,5	HELECINE [Bxl]	6,3	GESVES [Na]	6,0
ROUVROY	2,1	QUIEVRAIN [Mo]	2,6	GREZDOICEAU [Bxl]	6,4	MONT-DE-L'ENCLUS	6,2
COLFONTAINE [Mo]	2,2	NIVELLES [Bxl]	2,7	NEUPRE [Lg]	6,6	ANTHISNES [Lg]	6,2
LA LOUVIERE [Li]	2,2	NAMUR	2,7	DONCEEL [Lg]	6,7	BEAUVECHAIN [Bxl]	6,2
SAINT-HUBERT	2,2	SAMBREVILLE	2,7	TINLOT [Lg]	6,7	CRISNEE [Lg]	6,2
BOUSSU [Mo]	2,2	MARCHE-EN-	2,7	LASNE [Bxl]	6,8	FAUVILLERS	6,4
MALMEDY	2,2	PEPINSTER	2,7	CHAUMONT-[Bxl]	6,8	BURDINNE	6,4
CHATELET [Ch]	2,3	WAREMME [Lg]	2,7	RAMILLIES [Bxl]	6,9	INCOURT [Bxl]	6,5
MONS [Mo]	2,3	VIRTON	2,7	BEAUVECHA [Bxl]	7,1	NANDRIN [Lg]	6,6
QUIEVRAIN [Mo]	2,3	BEYNE-HEUSAY	2,7	WALHAIN [Bxl]	7,1	MANHAY	6,6
CHIMAY	2,4	MANAGE	2,7	GESVES [Na]	7,2	HASTIERE	6,6
WISE [Lg]	2,4	COLFONTAINE	2,8	NANDRIN [Lg]	7,3	STOUMONT [Lg]	6,7
FONTAINE LE [Ch]	2,5	BASTOGNE	2,8	CLAVIER [Lg]	7,3	RAMILLIES [Bxl]	7,0
COMINES	2,5	WELKENRAEDT	2,8	INCOURT [Bxl]	7,6	CLAVIER [Lg]	7,2

Les communes les plus performantes appartiennent souvent à des agglomérations morphologiques (surlignées en jaune) que ce soit Liège, Verviers, Mons ou dans une moindre mesure Charleroi. On distingue également quelques pôles secondaires de l'est et du sud de la Wallonie bien équipés en établissements scolaires et situés à une distance significative de pôles plus importants (Virton, Eupen, Mouscron, Bastogne, Saint-Vith, Malmedy, etc.). Les communes les moins performantes sont surtout des communes de banlieues ou de zones de migrants alternants. Contrairement aux déplacements domicile-travail, ces communes moins performantes n'appartiennent pas systématiquement à l'orbite de Bruxelles. On y trouve plusieurs communes situées dans la périphérie liégeoise ce qui met en évidence l'attrait de la ville de Liège en termes de scolarité (présence de l'Université et de nombreuses écoles ?).

La valeur moyenne de l'indice de localisation pour les déplacements domicile-école, pour l'année 1991, vaut 3,3 kWh/personne.an. L'écart entre les communes les plus performantes et les communes les moins performantes est significatif (1,5 vs. 7,5) mais est moins important que dans le cadre des déplacements domicile-travail.

Les cartes présentées aux échelles de l'ancienne commune et du secteur statistique affine cette analyse, et comme dans le cas des déplacements domicile-travail, permettent de mettre en évidence des disparités entre quartiers centraux et périphériques, noyaux villageois et zones périphériques et périurbaines, non décelable à l'échelle de la commune.

8.2.4. La comparaison des indices de localisation « travail » et « école »



Figure 69 : Comparaison des indices de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-travail et domicile-école, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001. Les deux cartes utilisent la même échelle graphique (celle utilisée pour la carte domicile-travail).



Figure 70 : Comparaison des indices de localisation [kWh/p.an] pour les déplacements domicile-travail et domicile-école, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991. Les deux cartes utilisent la même échelle graphique (celle utilisée pour la carte domicile-travail)

Seules les cartes relatives à l'échelle du secteur statistique sont présentées ici, car pour les échelles de la commune et de l'ancienne commune, l'ensemble des classes utilisées pour les cartes domicile-école sont comprises dans la première ou les deux premières classes utilisées pour les déplacements domicile-travail (les cartes relatives aux déplacements domicile-école qui utilisent la même échelle graphique que celle des déplacements domicile-travail sont donc entièrement blanche (première classe) et gris clair (seconde classe)). Ceci met clairement en évidence que les déplacements domicile-école sont nettement moins consommateurs que les

déplacements domicile-travail.

8.2.5. Les déplacements domicile-gare

Dans la méthode d'évaluation énergétique des déplacements domicile-travail et domicile-école développée et appliquée à quatre quartiers-types dans le premier rapport scientifique et technique, le trajet domicile-gare est pris en compte lorsque le train est le mode de transport principal. Les quartiers périurbains qui font l'objet de notre étude sont parfois situés loin des gares, ce qui signifie que ce trajet domicile-gare est souvent réalisé en voiture et est susceptible d'augmenter l'impact du déplacement de façon significative. Les calculs sur les quatre quartiers types ont été réalisés manuellement (mesure de la distance du quartier à la gare). L'automatisation de ce calcul via un système d'information géographique (SIG) et du choix du mode de déplacements (selon les hypothèses présentées dans Marique et al. [2010]) est à l'étude actuellement. Ce module et les résultats seront présentés et commentés ultérieurement. Nous estimons que ce module sera disponible pour le prochain comité d'accompagnement.

8.3. L'indice de parts modales

En complément de l'indice de localisation, présenté et cartographié ci-dessus, nous avons défini un indice de parts modales qui représente, pour un type de déplacement et un mode de transport, une mesure de l'intensité de l'utilisation de ce mode. Il est défini, pour chaque entité territoriale (commune, ancienne commune ou secteur statistique), pour les deux années de recensement (1991 et 2001) et pour chaque mode motorisé (voiture, train ou bus⁹) de la façon suivante :

$$Indice\ PM = \frac{D_m * PM_m}{\sum_i D_i * PM_i}$$

avec

$$\sum Indice\ PM = 1$$

Il se différencie donc de la part modale « traditionnelle » (la part modale d'un mode « x » est définie comme le rapport entre le nombre de déplacements de ce mode « x » sur le nombre de déplacements totaux, tous modes confondus) par la prise en considération de la distance parcourue. Les figures qui suivent reprennent à gauche l'indice des parts modales de la voiture, au centre celui du bus et à droite celui du train. La somme de ces trois indices pour chaque entité considérée vaut 1 (100%).

⁹ Pour rappel, le mode « scooter ou moto » n'est pas pris en compte dans notre étude compte tenu de sa faible utilisation tant pour les déplacements domicile-travail que domicile-école. Les modes doux (vélo et marche à pied) ne sont pas considérés ici comme ils n'influencent pas l'indice de localisation présenté dans le chapitre précédent (facteur de consommation considéré comme nul).

8.3.1. Les déplacements domicile-travail

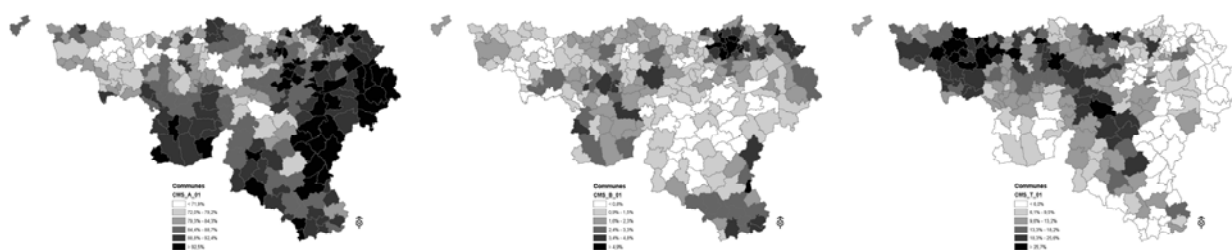


Figure 71 : Indices des parts modales des modes motorisés, pour les déplacements domicile-travail, caculés à l'échelle de la commune, données INS de 2001, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite.

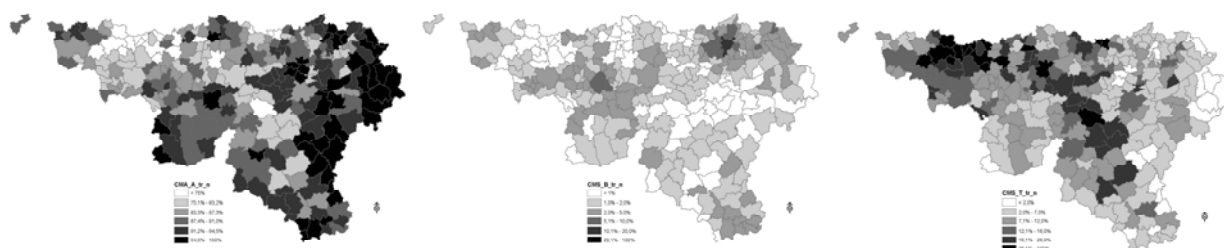


Figure 72 : Indices des parts modales des modes motorisés, pour les déplacements domicile-travail, caculés à l'échelle de la commune, données INS de 1991, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite.

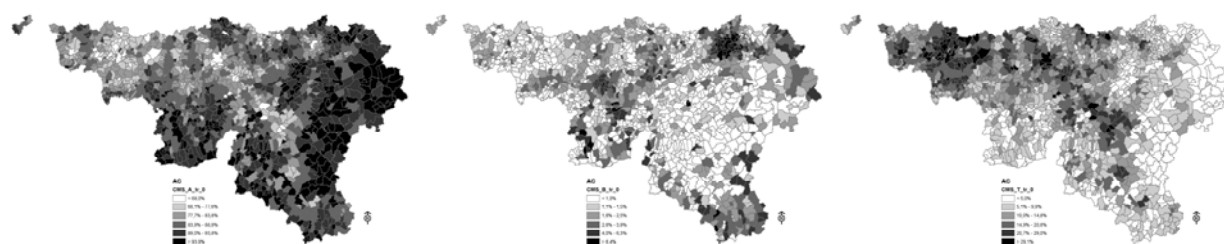


Figure 73 : Indices des parts modales des modes motorisés, pour les déplacements domicile-travail, caculés à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 2001, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite.

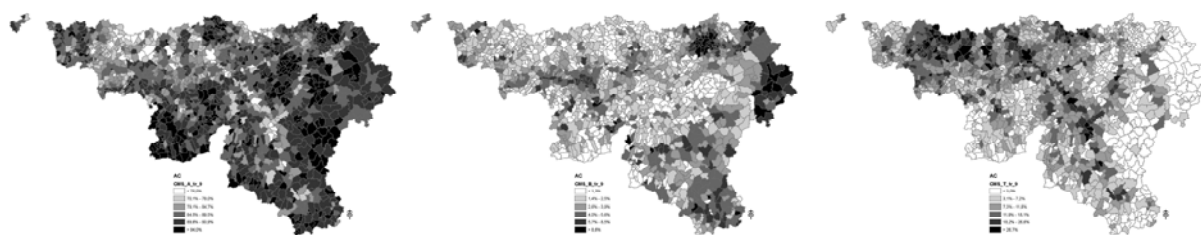


Figure 74 : Indices des parts modales des modes motorisés, pour les déplacements domicile-travail, calculés à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 1991, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite.

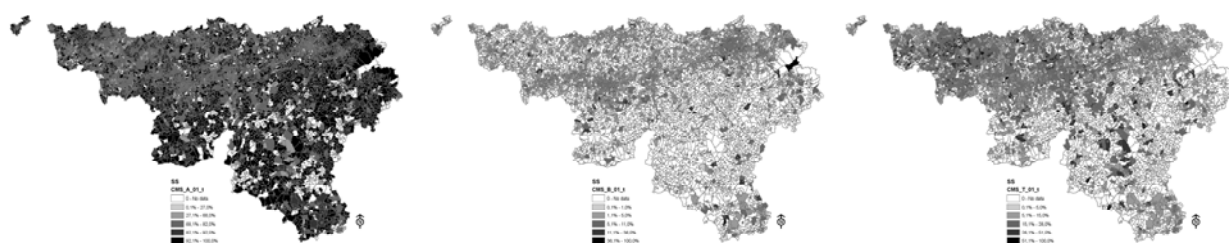


Figure 75 : Indices des parts modales des modes motorisés, pour les déplacements domicile-travail, calculés à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite.



Figure 76 : Indices des parts modales des modes motorisés, pour les déplacements domicile-travail, calculés à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite.

Tableau 98 : Calcul de l'indice des parts modales des modes motorisés pour le bus selon la classification des communes de Van der Haegen et al. [1996], (AgO = agglomérations opérationnelles, Ba = banlieues et MA = zones des migrants alternants), pour 1991, 2001 et évolution temporelle.

Indice des parts modales des modes motorisés : BUS	1991			2001			Δ		
	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA
Moyenne	4,6%	1,8%	1,4%	4,0%	1,7%	1,5%	-0,6%	-0,1%	0,1%
(Bruxelles)	1,7%	1,1%	1,0%	1,8%	1,6%	1,3%	0,1%	0,5%	0,3%
Charleroi	4,0%	2,6%	2,3%	3,5%	1,9%	2,3%	-0,5%	-0,7%	0%
Liège	7,2%	2,2%	1,2%	6,0%	1,9%	1,2%	-1,2%	-0,3%	0%
Mons	2,6%	1,1%	0,7%	2,5%	0,8%	0,6%	-0,1%	-0,3%	-0,1%
Namur	4,1%	1,3%	1,9%	4,0%	1,5%	2,1%	-0,1%	0,2%	0,2%
La Louvière	2,2%	-	2,2%	1,6%	-	1,7%	-0,6%	-	-0,5%
Tournai	1,4%	2,0%	3,0%	1,8%	1,6%	1,5%	0,4%	-0,4%	-1,5%
Verviers	5,1%	1,6%	2,4%	4,0%	1,2%	1,9%	-1,1%	-0,4%	-0,5%

Tableau 99 : Calcul de l'indice des parts modales des modes motorisés pour le train selon la classification des communes de Van der Haegen et al. [1996], (AgO = agglomérations opérationnelles, Ba = banlieues et MA = zones des migrants alternants), pour 1991, 2001 et évolution temporelle.

Indice des parts modales des modes motorisés : TRAIN	1991			2001			Δ		
	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA
Moyenne	9,9%	10,4%	14,1%	14,0%	12,7%	15,4%	4,1%	2,3%	1,3%
(Bruxelles)	19,2%	17,5%	18,9%	17,9%	17,4%	19,6%	-1,3%	-0,1%	0,7%
Charleroi	10,6%	8,7%	9,0%	14,8%	11,7%	10,4%	4,2%	3,0%	1,4%
Liège	4,9%	5,2%	12,2%	9,4%	7,6%	13,3%	4,5%	2,4%	1,1%
Mons	13,7%	14,5%	18,3%	19,8%	22,0%	18,5%	6,1%	7,5%	0,2%
Namur	16,8%	14,4%	10,2%	25,0%	17,5%	13,5%	8,2%	3,1%	3,3%
La Louvière	10,3%	-	8,0%	12,2%	-	10,7%	1,9%	-	2,7%
Tournai	14,2%	10,6%	6,0%	24,9%	17,3%	12,7%	10,7%	6,7%	6,7%
Verviers	12,6%	6,6%	6,3%	13,2%	6,7%	7,6%	0,9%	0,1%	1,3%

L'indice des parts modales relatives au bus diminuent avec l'éloignement au centre (la valeur de cet indice pour les agglomérations opérationnelles est supérieure à celle des banlieues, elle-même supérieure à celle des zones de migrants alternants). On remarque de fortes disparités entre ville. Si le bus semble être un mode de transport utilisé fréquemment à Liège, puis dans une moindre mesure à Charleroi, Namur et Verviers. Mons, Tournai et Bruxelles présentent des indices

nettement plus faibles. La tendance est à la baisse entre 1991 et 2001 ce qui signifie un recul du bus, tant en termes de parts modales que de distances parcourues. En ce qui concerne l'indice des parts modales du train, la tendance est inversée puisqu'on remarque une augmentation presque généralisée de cet indice entre 1991 et 2001. Cette augmentation semble particulièrement toucher les agglomérations morphologiques puis les banlieues.

Tableau 100 : Classements des 30 communes où l'indice des parts modales du bus est le plus élevé et des 30 communes où il est le moins élevé. Les communes surlignées en jaunen appartiennent à des agglomérations morphologiques, celles surlignées en vert à des banlieues et celles surlignées en rose à des zones de migrants alternants (Lg = Liège, Ve = Verviers, Bxl = Bruxelles, Mo = Mons, To = Tournai, Na = Namur et Ch = Charleroi)

Les 30 communes où l'indice de PM du bus est le plus élevé				Les 30 communes où l'indice de PM du bus est le moins élevé			
1991		2001		1991		2001	
LIEGE [Lg]	11,2%	HERSTAL [Lg]	8,4%	HAMOIR [Lg]	0,6%	MERBES-LE- [Ch]	0,7%
SAINT-NIC [Lg]	9,7%	LIEGE [Lg]	8,3%	BRAINE-LE-C [Bxl]	0,6%	LA ROCHE-EN-	0,7%
HERSTAL [Lg]	9,0%	BEYNE-HEUSAY [Lg]	8,2%	SILLY [Bxl]	0,6%	ROCHEFORT	0,7%
BEYNE-HEUS [Lg]	8,9%	SAINT-NICOLAS [Lg]	8,0%	JURBISE [Mo]	0,6%	CHASTRE [Bxl]	0,7%
SERAING [Lg]	8,9%	SERAING [Lg]	7,4%	ENGHIEN [Bxl]	0,6%	LIERNEUX	0,7%
ANS [Lg]	8,2%	KELMIS/LA	6,5%	NANDRIN [Lg]	0,6%	TENNEVILLE	0,7%
FLERON [Lg]	7,3%	ANS [Lg]	6,5%	HOTTON	0,6%	STOUMONT [Lg]	0,6%
GRACEHOL [Lg]	6,9%	FLERON [Lg]	6,5%	MARCHE-	0,6%	DONCEEL [Lg]	0,6%
DISON [Lg]	6,3%	GRACE-HOLLO [Lg]	5,9%	ROUVROY	0,6%	VIELSALM	0,6%
KELMIS/LA	6,0%	MARTELANGE	5,8%	WELLIN	0,6%	LIBIN	0,6%
FLEMALLE [Lg]	5,9%	CHARLEROI [Ch]	4,8%	ONHAYE	0,6%	BERTRIX	0,6%
CHATELET [Ch]	5,6%	FLORENNES [Ch]	4,6%	LEUZE-EN-H	0,6%	HOUYET	0,5%
OUPEYE [Lg]	5,4%	FLEMALLE [Lg]	4,6%	HANNUT [Bxl]	0,5%	QUEVY [Mo]	0,5%
CHARLEROI [Ch]	5,2%	VERVIERS [Ve]	4,5%	VRESSE-	0,5%	BERNISSART	0,5%
VERVIERS [Ve]	5,0%	OUPEYE [Lg]	4,4%	TINLOT [Lg]	0,5%	BERTOONE	0,5%
CHAUDFONT [Lg]	4,8%	SIVRY-RANCE	4,4%	HELECINE [Bxl]	0,5%	DURBUY	0,4%
JUPRELLE [Lg]	4,7%	FARCIENNES [Ch]	4,3%	EREZEE	0,5%	BERLOZ [Lg]	0,4%
PLOMBIERES	4,6%	DISON [Lg]	4,1%	SOMME-LEUZE	0,5%	NASSOGNE	0,4%
MESSANCY	4,4%	EUPEN	4,1%	MOMIGNIES	0,5%	LENS [Bxl]	0,4%
FLORENNES [Ch]	4,3%	OREYE	4,0%	LESSINES [Bxl]	0,5%	HONNELLES [Mo]	0,3%
AWANS [Lg]	4,2%	NAMUR [Na]	4,0%	WAREMME [Lg]	0,4%	SAINTE-ODE	0,3%
TROOZ [Lg]	4,1%	RAEREN	3,9%	CHASTRE [Bxl]	0,4%	JURBISE [Mo]	0,3%
NAMUR [Na]	4,1%	CHATELET [Ch]	3,8%	ASSESE [Na]	0,4%	MONT-SAINT- [Bxl]	0,3%
PEPINSTER [Ve]	4,0%	AWANS [Lg]	3,8%	WALHAIN [Bxl]	0,4%	BRUGELETTE [Bxl]	0,3%
CRISNEE [Lg]	3,9%	CHAUDFONTAINE [Lg]	3,7%	HENSIES [Mo]	0,4%	WELLIN	0,2%
MONT-DLE	3,9%	SOUMAGNE [Lg]	3,7%	MONT -G[Bxl]	0,3%	SOMME-LEUZE	0,2%
SOUMAGNE [Lg]	3,9%	JUPRELLE [Lg]	3,6%	BRUGELETTE [Bxl]	0,3%	EREZEE	0,2%
AUBANGE	3,8%	AUBANGE	3,6%	DURBUY	0,3%	HAMOIR [Lg]	0,1%
ANDERLUES [Ch]	3,8%	ANDERLUES [Ch]	3,6%	FERRIERES [Lg]	0,2%	TELLIN	0,1%
LES BONS VI [Ch]	3,8%	MESSANCY	3,6%	LENS [Bxl]	0,1%	DAVERDISSE	0,0%

Tableau 101 : Classement des 30 communes où l'indice des parts modales du train est le plus élevé et des 30 communes où il est le moins élevé. Les communes surlignées en jaunen appartiennent à des agglomérations morphologiques, celles surlignées en vert à des banlieues et celles surlignées en rose à des zones de migrants alternants (Lg = Liège, Ve = Verviers, Bxl = Bruxelles, Mo = Mons, To = Tournai, Na = Namur et Ch = Charleroi)

Les 30 communes où l'indice de PM du train est le plus élevé				Les 30 communes où l'indice de PM du train est le moins élevé			
1991		2001		1991		2001	
ENGHIEN [Bxl]	37,9%	ATH [Bxl]	37,6%	CRISNEE [Lg]	2,4%	BLEGNY [Lg]	4,6%
BRAINE-LE-C [Bxl]	32,4%	ENGHIEN [Bxl]	35,0%	VIRTON	2,4%	CLAVIER [Lg]	4,6%
WAREMME [Lg]	31,1%	LEUZE-ENHAINAUT	34,3%	AUBEL	2,4%	LONTZEN	4,6%
ATH [Bxl]	30,6%	GEMBLOUX [Bxl]	31,6%	HOUFFALIZE	2,4%	VIROINVAL	4,5%
OTTIGNIES- [Bxl]	29,8%	BRAINE-LE-COM [Bxl]	31,1%	THIMISTER- [Ve]	2,4%	LA ROCHE-EN-	4,5%
NIVELLES [Bxl]	29,8%	CHIEVRES [Bxl]	30,8%	HERVE	2,4%	OUFFET [Lg]	4,4%
GEMBLOUX [Bxl]	29,3%	WAREMME [Lg]	30,6%	SIVRY-RANCE	2,3%	LEGLISE	4,3%
TUBIZE [Bxl]	28,8%	OTTIGNIES-LO [Bxl]	29,5%	MESSANCY	2,2%	CRISNEE [Lg]	4,3%
LESSINES [Bxl]	28,3%	CINEY	28,7%	VAUX-SUR-SURE	2,0%	BOUILLON	4,2%
CINEY	26,4%	BRUGELETTE [Bxl]	28,2%	SOUMAGNE [Lg]	2,0%	FROIDCHAPELLE	4,2%
ECAUSSINES [Bxl]	25,8%	NIVELLES [Bxl]	28,2%	ATTERT	1,9%	EUPEN	4,0%
SILLY [Bxl]	25,8%	SOIGNIES	27,0%	MOMIGNIES	1,9%	PLOMBIERES	4,0%
BRUGELETTE [Bxl]	25,7%	JURBISE [Mo]	26,7%	SAINTE-ODE	1,9%	VAUX-SUR-SURE	3,9%
LEUZE-	25,5%	LESSINES [Bxl]	25,9%	BEYNE-HEU [Lg]	1,8%	WAIMES	3,8%
BERLOZ [Bxl]	25,0%	SILLY [Bxl]	25,6%	WAIMES	1,8%	MALMEDY	3,7%
LINCENT [Bxl]	24,3%	NAMUR [Na]	25,0%	TINLOT [Lg]	1,8%	RAEREN	3,7%
BRAINE-L'AL [Bxl]	24,2%	TOURNAI [To]	24,9%	BERTOgne	1,6%	HOUFFALIZE	3,5%
SOIGNIES	24,0%	BERLOZ [Lg]	24,7%	KELMIS/LA	1,6%	MEIX-DEVANT-	3,5%
LENS [Bxl]	23,7%	PONT-A-CELLES [Ch]	24,0%	MEIX-	1,6%	KELMIS/LA	3,5%
PONT-A-CELL [Ch]	23,6%	MARCHE-EN-F	23,8%	SAINT-VITH	1,5%	SAINT-VITH	3,3%
MONT-SAINT [Bxl]	23,6%	ECAUSSINES [Bxl]	23,8%	NEUPRE [Lg]	1,5%	BERTOgne	3,2%
HELECINE [Bxl]	23,2%	LINCENT [Bxl]	23,7%	SAINT-LEGER	1,4%	LIERNEUX	2,8%
CHIEVRES [Bxl]	22,7%	TUBIZE [Bxl]	23,0%	RAEREN	1,4%	MANHAY	2,8%
CHASTRE [Bxl]	22,1%	BOUSSU [Mo]	22,6%	BLEGNY [Lg]	1,3%	BASTOGNE	2,7%
QUIEVRAIN [Mo]	21,9%	LENS [Bxl]	22,5%	FAUVILLERS	1,2%	AMEL/AMBLEVE	2,4%
HANNUT [Bxl]	20,5%	CHASTRE [Bxl]	22,4%	NANDRIN [Lg]	1,2%	BUTGENBACH	2,0%
HENSIES [Mo]	19,5%	QUAREGNON [Mo]	22,2%	MARTELANGE	0,9%	MOMIGNIES	2,0%
RIXENSART [Bxl]	19,5%	MONS [Mo]	22,1%	BULLINGEN-	0,8%	FAUVILLERS	1,4%
BERTRIX	19,4%	HELECINE [Bxl]	22,1%	AMEL/AMBLEVE	0,5%	ROUVROY	1,3%
HAMOIR [Lg]	19,1%	BRAINE-L'ALLE [Bxl]	21,4%	BUTGENBACH	0,5%	BULLINGEN-	0,4%

Les neuf communes wallonnes où l'indice des parts modales du bus est le plus élevé sont toutes situées dans l'agglomération opérationnelle de Liège. C'est la ville de Liège qui est la mieux classée en 1991 et Herstal en 2001. On retrouve également les villes de Verviers, Charleroi et Namur parmi les communes où l'usage du bus est le plus répandu (et où l'offre est la plus élevée). Plusieurs communes de la banlieue de Liège se distinguent également. Parmi les communes où l'usage du bus pour les déplacements domicile-travail est le moins intensif, on

retrouve des communes appartenant à la zone des migrants alternants de Bruxelles ainsi que des communes à caractère plus rurale et situées à une distance importante des grandes villes. On remarque sur les cartes relatives aux trois échelles considérées une zone importante, située sous le sillon de la Meuse et couvrant majoritairement la province du Luxembourg, où l'usage du bus est très faible (blanc / gris-clair).

Plusieurs communes de la banlieue et de la zone des migrants alternants de Bruxelles sont bien classées, en ce qui concerne l'indice des parts modales du train alors qu'elles figurent en queue de classement pour l'indice relatif au bus. C'est particulièrement le cas des communes situées dans les zones sud (Gembloux, Ottignies-Louvain-La-Neuve, etc.) et sud-ouest de Bruxelles (Braine-Le-Conte, Braine-Le-Château, enghien, Ath, Jurbise, Chièvres, etc.) et de Waremme qui constitue une localisation prisée par de nombreux ménages se partageant entre Liège et Bruxelles. Les communes situées le long de l'axe Luxembourg – Bruxelles sont également assez bien classées, en ce qui concerne l'indice des parts modales du train. Ces deux zones apparaissent clairement sur les différentes cartes relatives à l'indice des parts modales pour le train (noir / gris-foncé). Si on superpose à la carte de l'indice des parts modales pour le train, le réseau de chemin de fer (figures ci-dessous pour 2001 et 1991), on remarque en effet que l'indice des parts modales pour le train est élevé là où l'infrastructure ferroviaire est bonne (dorsale wallonne, ligne Luxembourg-Bruxelles et partie ouest de la Province de Hainaut). La différence de l'indice, entre les communes les mieux classées et les moins bien classées est élevée pour le bus, mais surtout pour le train. Namur présente la particularité d'être bien classée tant en ce qui concerne l'indice des parts modales de bus que celui du train.

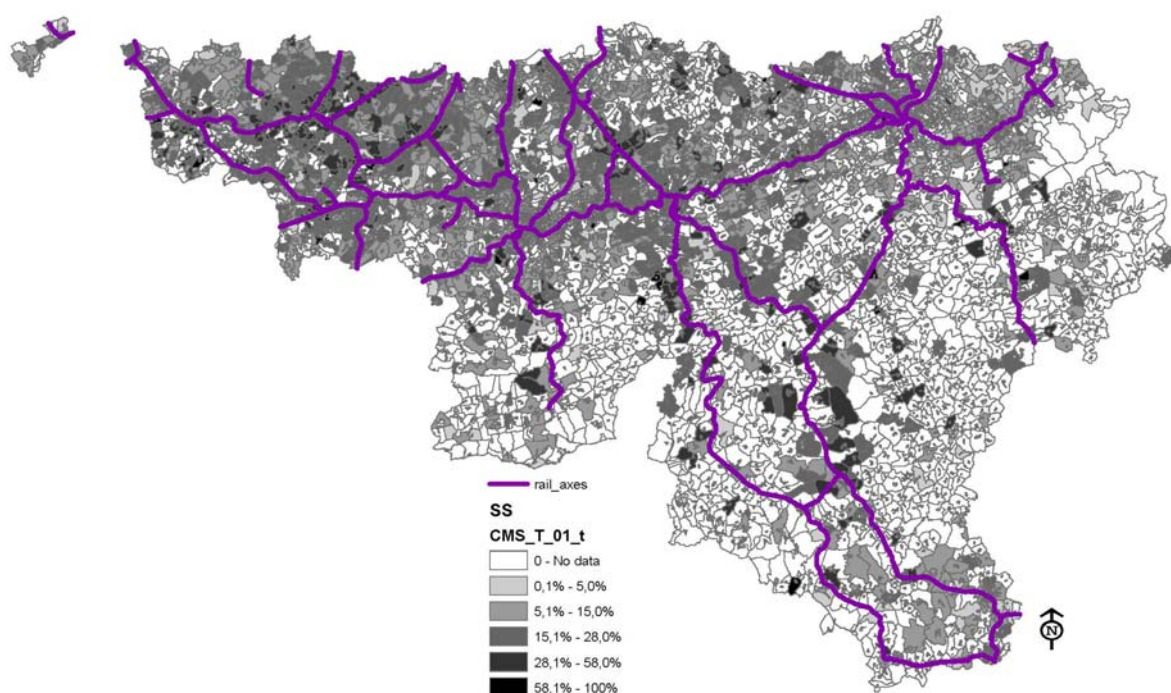


Figure 77 : Superposition de l'infrastructure ferroviaire avec l'indice de parts modales relatives au train, pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001

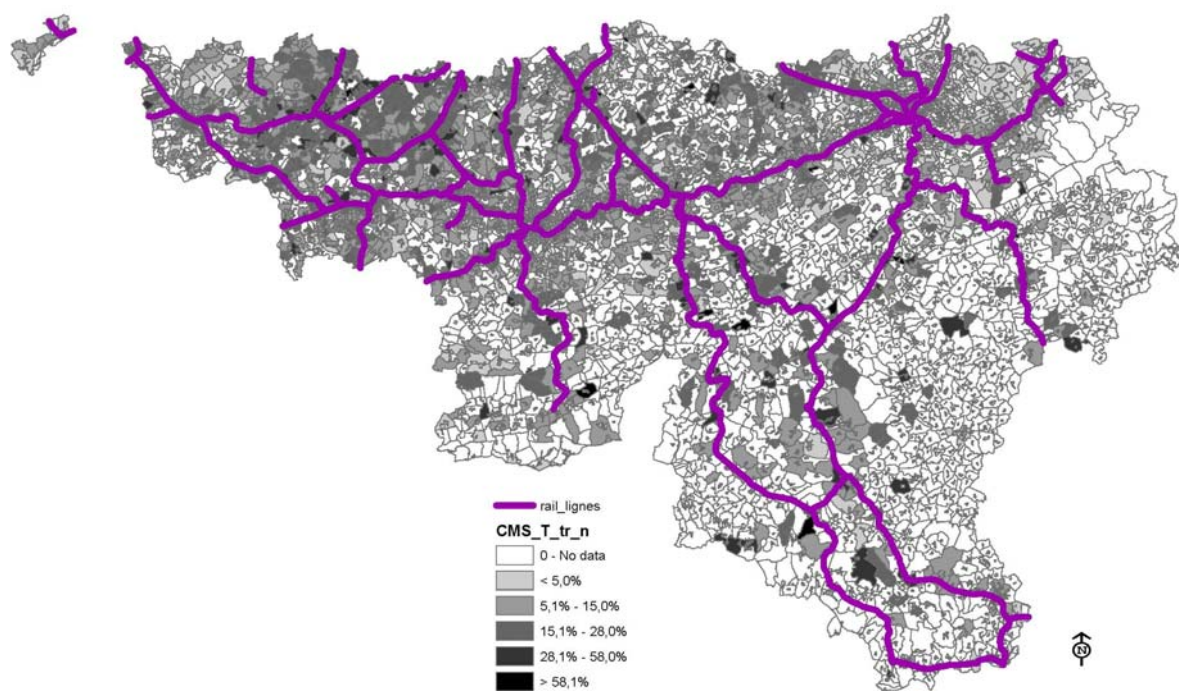


Figure 78 : Superposition de l'infrastructure ferroviaire avec l'indice de parts modales relatives au train, pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991

8.3.2. Les déplacements scolaires

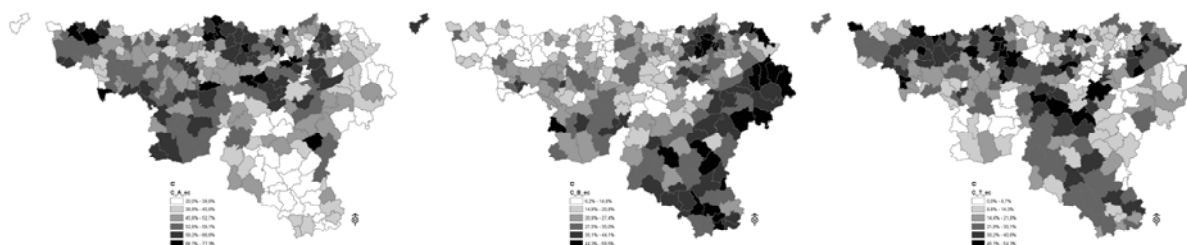


Figure 79 : Indices des parts modales, pour les déplacements domicile-école, calculés à l'échelle de la commune, données INS de 2001, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite

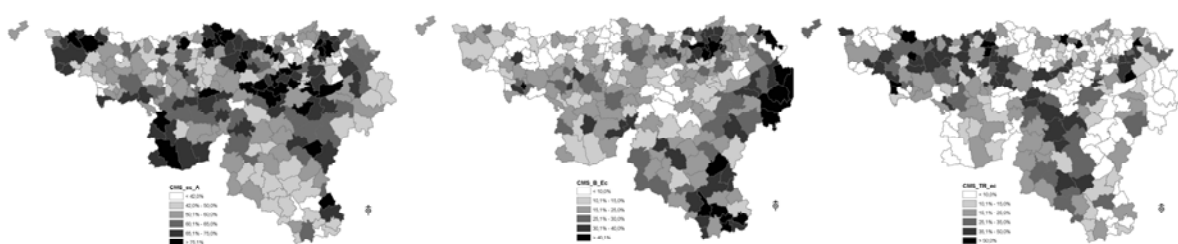


Figure 80 : Indices des parts modales, pour les déplacements domicile-école, calculés à l'échelle de la commune, données INS de 1991, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite

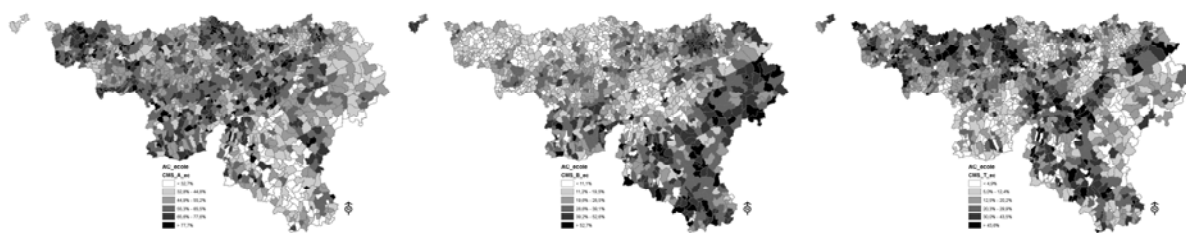


Figure 81 : Indices des parts modales, pour les déplacements domicile-école, calculés à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 2001, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite

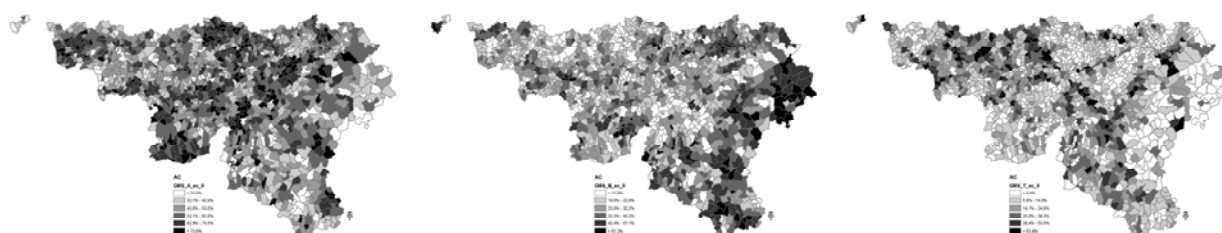


Figure 82 : Indices des parts modales, pour les déplacements domicile-école, calculés à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 1991, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite

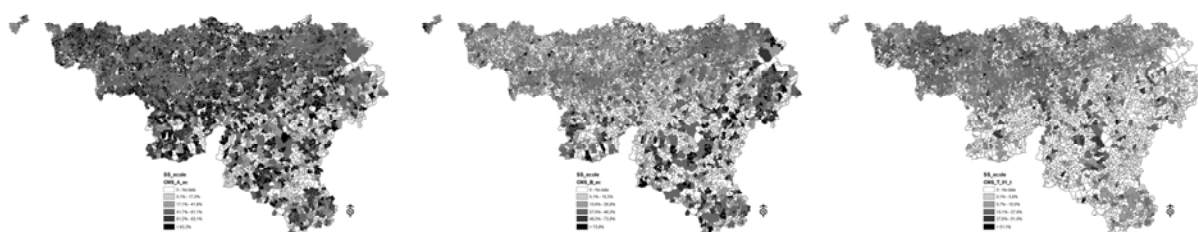


Figure 83 : Indices des parts modales, pour les déplacements domicile-école, calculés à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite



Figure 84 : Indices des parts modales des modes motorisés, pour les déplacements domicile-école, calculés à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite

Les mêmes conclusions générales peuvent être tirées pour les déplacements domicile-travail et pour les déplacements domicile-école. La voiture reste le mode de déplacement principal dans la plupart des communes, anciennes communes et secteur statistiques de la Région wallonne. On remarque également, aux trois échelles territoriales, un indice des parts modales pour le train plus élevé le long de l'axe Luxembourg – Bruxelles (et certainement grâce à l'importance des distances parcourues pour se rendre à Bruxelles et aux embouteillages récurrents pour entrer / sortir de la capitale aux heures de pointe), le long de la dorsale wallonne et dans la partie Ouest du Hainaut, bien desservie en infrastructures ferroviaires. L'usage du bus est favorisé le long du sillon Sambre et Meuse ainsi que dans la zone est de la Région et dans le sud Luxembourg.

8.3.3. La comparaison des parts modales « travail » et « école »

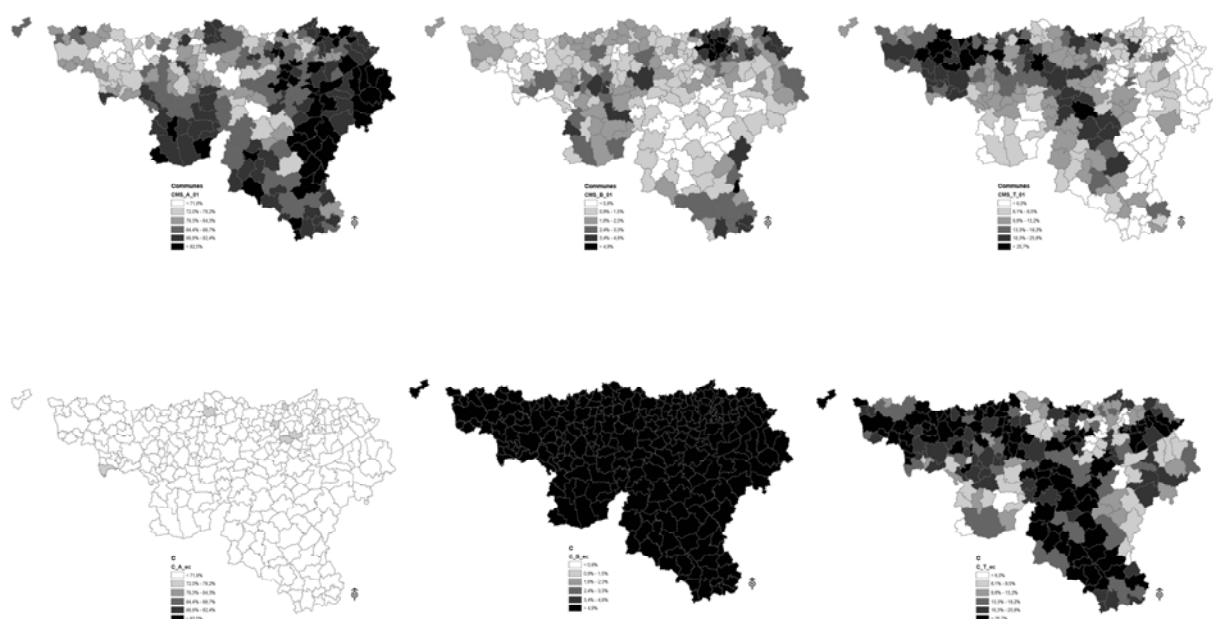


Figure 85 : Comparaison des indices des parts modales des modes motorisés des déplacements domicile-travail et des déplacements scolaires, calculs à l'échelle de la commune, données INS de 2001, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite

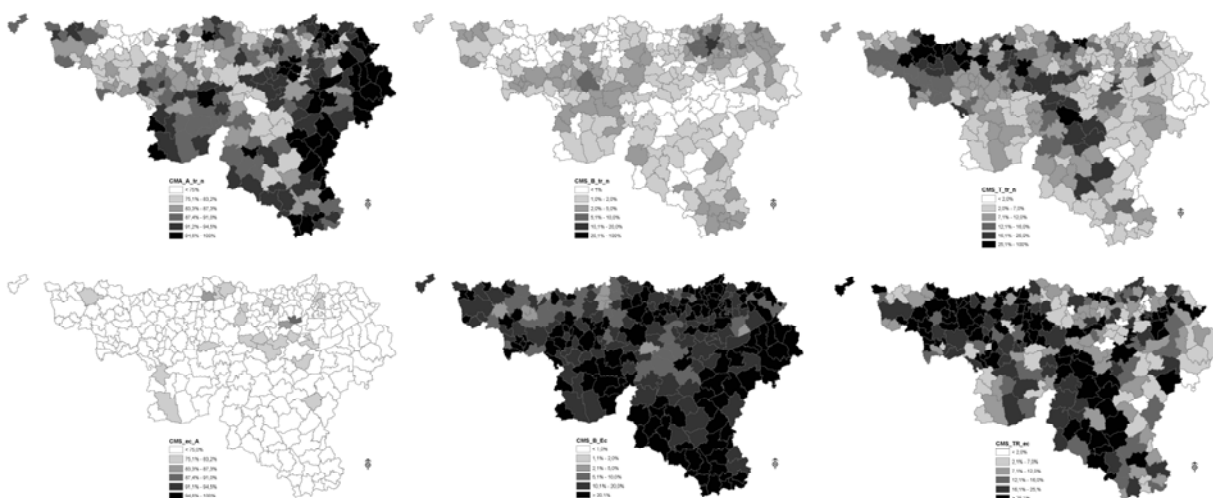


Figure 86 : Comparaison des indices des parts modales des modes motorisés des déplacements domicile-travail et des déplacements scolaires, calculs à l'échelle de la commune, données INS de 1991, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite. Les cartes domicile-travail et domicile-école utilisent la même échelle graphique (celles des déplacements domicile-travail)

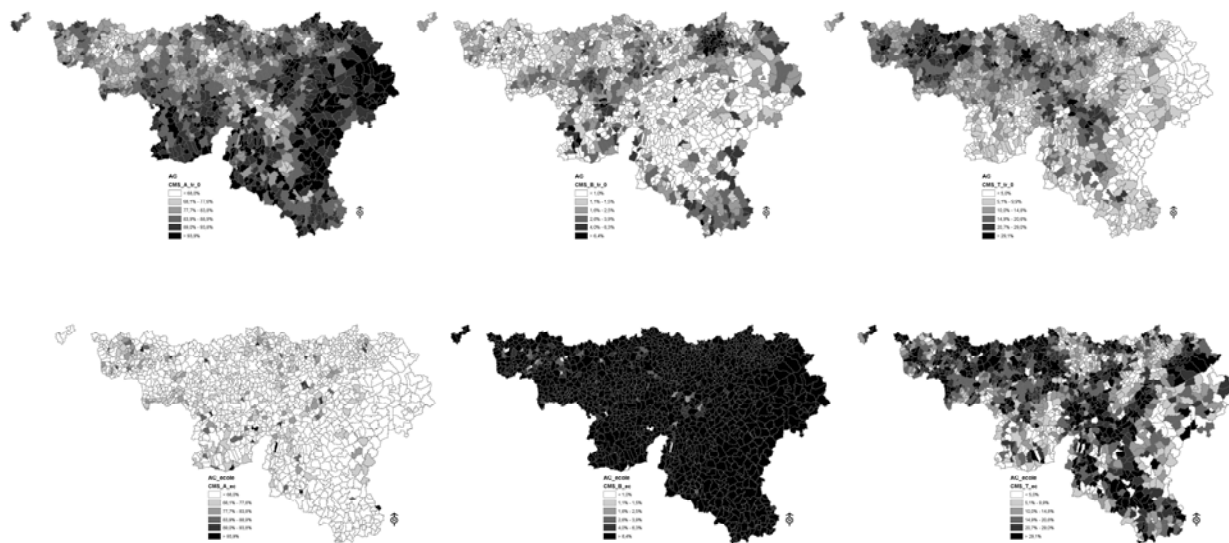


Figure 87 : Comparaison des indices des parts modales des modes motorisés des déplacements domicile-travail et des déplacements scolaires, calculs à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 2001, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite. Les cartes domicile-travail et domicile-école utilisent la même échelle graphique (celles des déplacements domicile-travail)

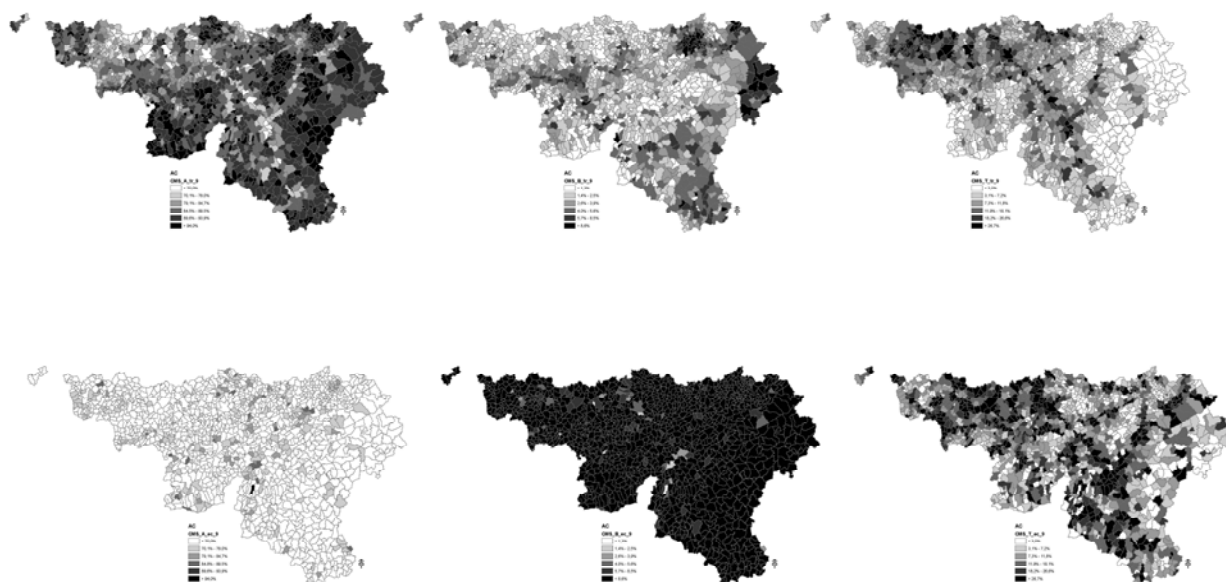


Figure 88 : Comparaison des indices des parts modales des modes motorisés des déplacements domicile-travail et des déplacements scolaires, calculs à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 1991, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite. Les cartes domicile-travail et domicile-école utilisent la même échelle graphique (celles des déplacements domicile-travail)

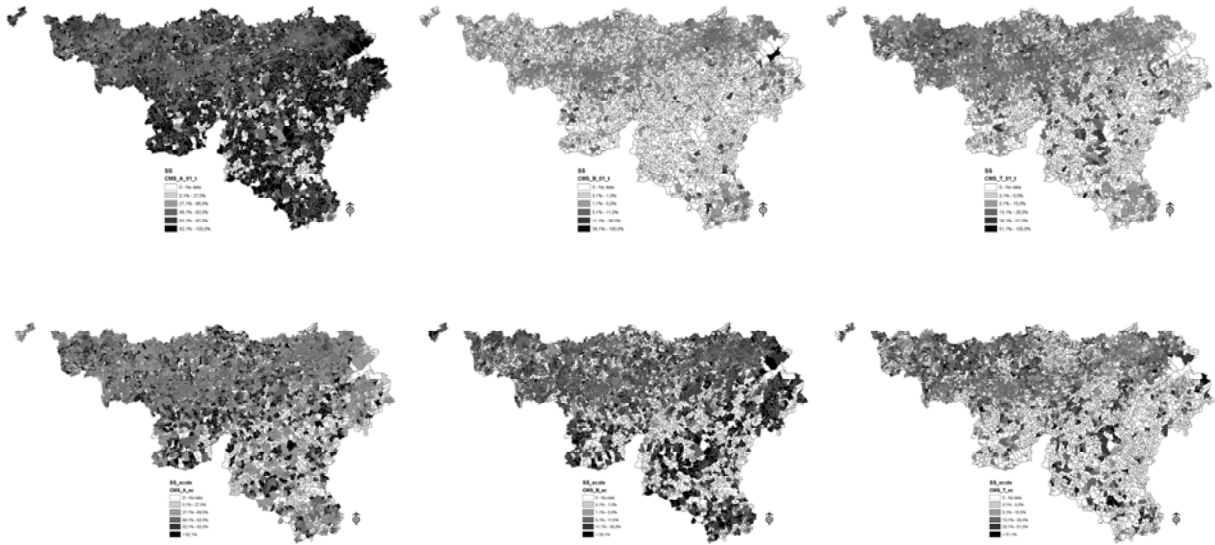


Figure 89 : Comparaison des indices des parts modales des modes motorisés des déplacements domicile-travail et des déplacements scolaires, calculs à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite. Les cartes domicile-travail et domicile-école utilisent la même échelle graphique (celles des déplacements domicile-travail) pour faciliter la comparaison

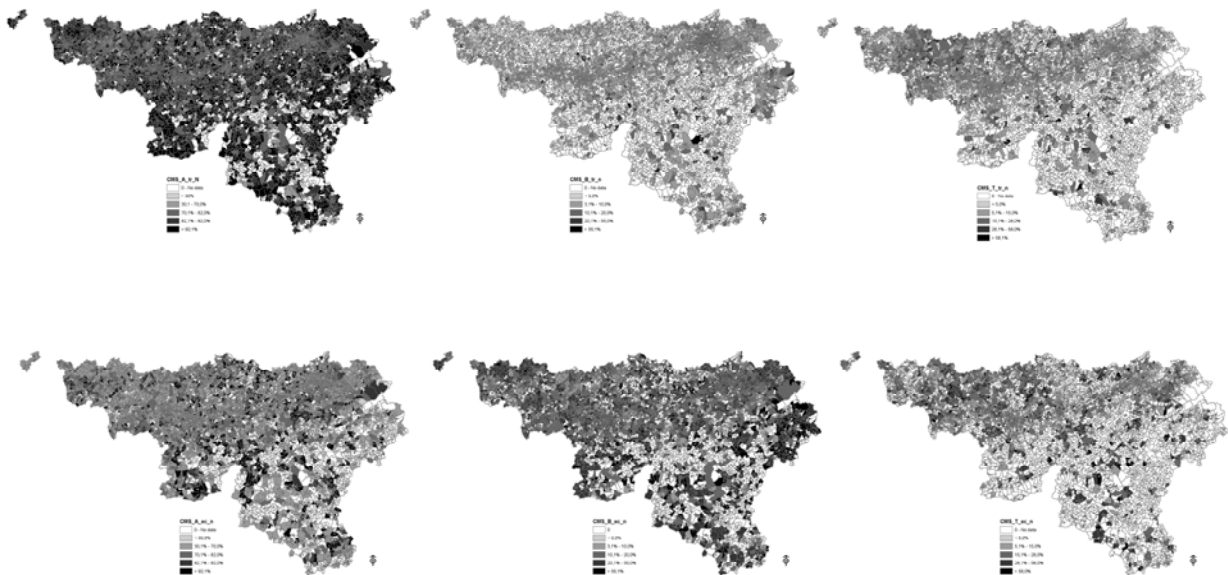


Figure 90 : Comparaison des indices des parts modales des modes motorisés des déplacements domicile-travail et des déplacements scolaires, calculs à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991, pour la voiture à gauche, le bus au centre et le train à droite. Les cartes domicile-travail et domicile-école utilisent la même échelle graphique (celles des déplacements domicile-travail) pour faciliter la comparaison

Pour les données de 1991, on remarque clairement, aux différentes échelles territoriales utilisées, que l'usage du train mais surtout du bus est plus répandu pour les déplacements domicile-école que pour les déplacements domicile-travail.

8.4. Les distances parcourues

8.4.1. Définition

Le troisième indice défini et cartographié dans le cadre de la recherche représente la distance moyenne parcourue par trajet, tous modes confondus, dans chaque entité territoriale considérée (commune, ancienne commune, secteur statistique).

Il s'agit d'une moyenne calculée directement sur base des données des recensements de l'INS. Pour le recensement de 1991, nous disposons de données agrégées par classes de distances. La distance prise en compte au sein de chaque classe est la moyenne de ses bornes (selon le tableau suivant). La valeur moyenne relative à la classe [plus de 70 kilomètres] est considérée égale à 80 kilomètres. Pour le recensement de 2001, les données sont désagrégées (disponibles pour chaque individu). Une moyenne précise peut être calculée.

Tableau 102 : Valeurs moyennes utilisées pour chaque classe de distance du recensement INS de 1991

Classe INS	< 3 km	[3 – 5 km[	[5 – 10 km[	[10-20 km[	[20-30 km[	[30-50 km[	[50-70 km[	> 70 km
Distance moyenne	1,5 km	4 km	7,5 km	15 km	25 km	35 km	60 km	80 km

8.4.2. Les déplacements domicile-travail

Les cartes présentant les distances moyennes parcourues par commune, ancienne commune et secteur statistique calculées pour les déplacements domicile-travail, pour 1991 et 2001, montrent une parfaite similitude avec les cartes présentant l'indice de localisation des déplacements domicile-travail, ce qui témoigne du rôle prépondérant des distances parcourues dans les consommations d'énergie des déplacements. Les mêmes observations peuvent donc être établies :

- Des distances parcourues faibles dans les communes les plus denses et peuplées de la Wallonie, à savoir celles situées le long de l'ancien sillon industriel qui s'est développé le long de la Sambre et de la Meuse et de sa prolongation jusque Mouscron à l'est et Eupen à l'ouest ;
- Les distances parcourues sont spécialement faibles à Liège et à Charleroi ;
- Les travailleurs de la périphérie sud-est de Bruxelles et du sud de la Province de Luxembourg (orbite de Luxembourg-ville) parcourent de longues distances ;
- Les distances sont réduites dans certaines zones frontalières, ce qui pourrait être dû à la réticence des individus à trouver du travail dans une région / un pays de régime linguistique différent ;
- La tendance est à l'augmentation des distances parcourues entre 1991 et 2001 (voir chapitre 8.5.4 pour une analyse plus détaillée de l'évolution des distances) ;
- Les cartes présentées à l'échelle de l'ancienne commune et du secteur statistique affinent l'analyse et mettent en évidence, comme déjà abordé dans le chapitre traitant de l'indice de localisation, le bon comportement (distances plus réduites) de certains pôles secondaires ou noyaux villageois.

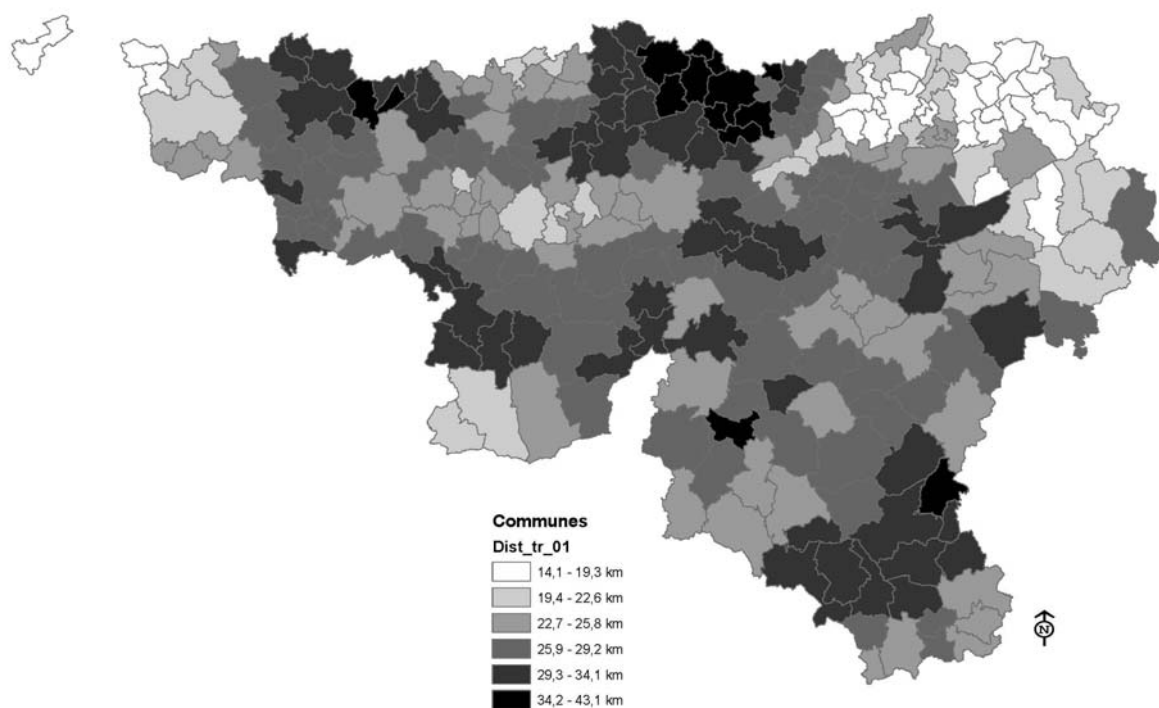


Figure 91 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail, calcul à l'échelle de la commune, données INS de 2001

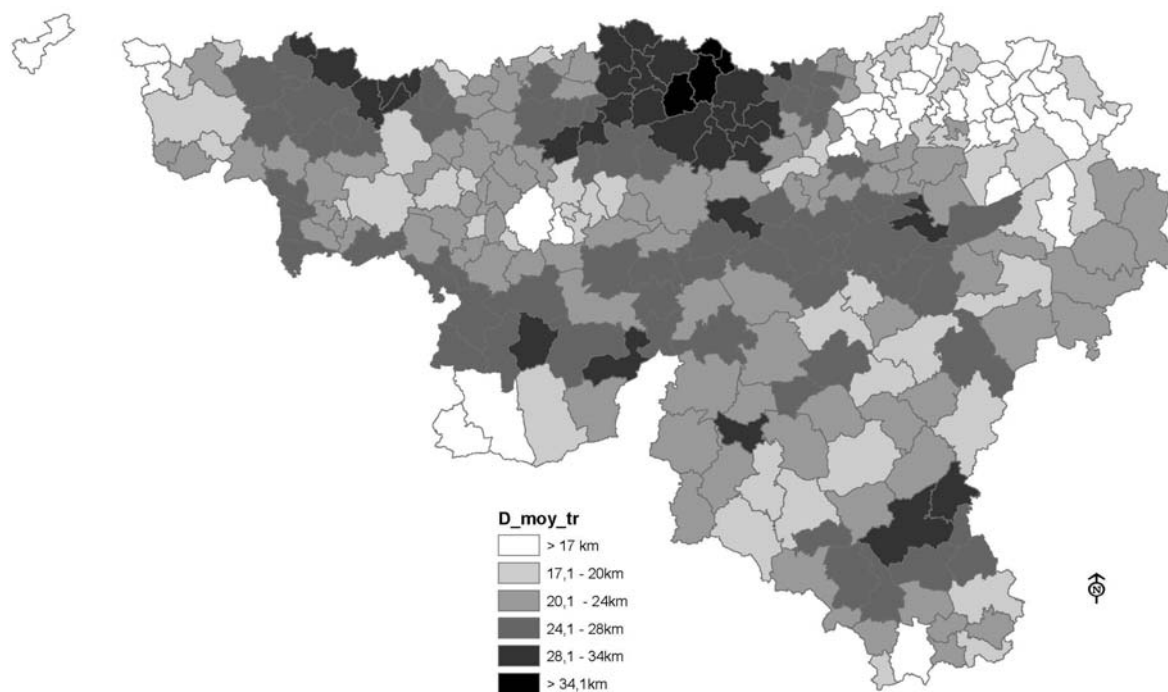


Figure 92 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail, calcul à l'échelle de la commune, données INS de 1991

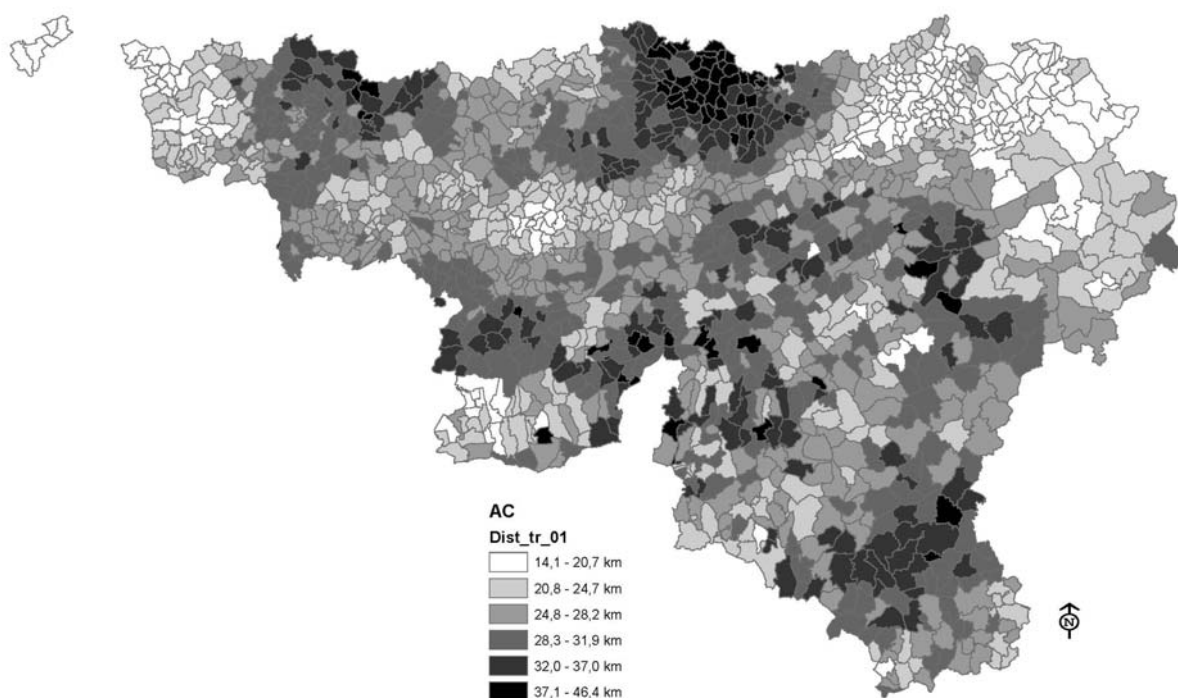


Figure 93 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail, calcul à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 2001

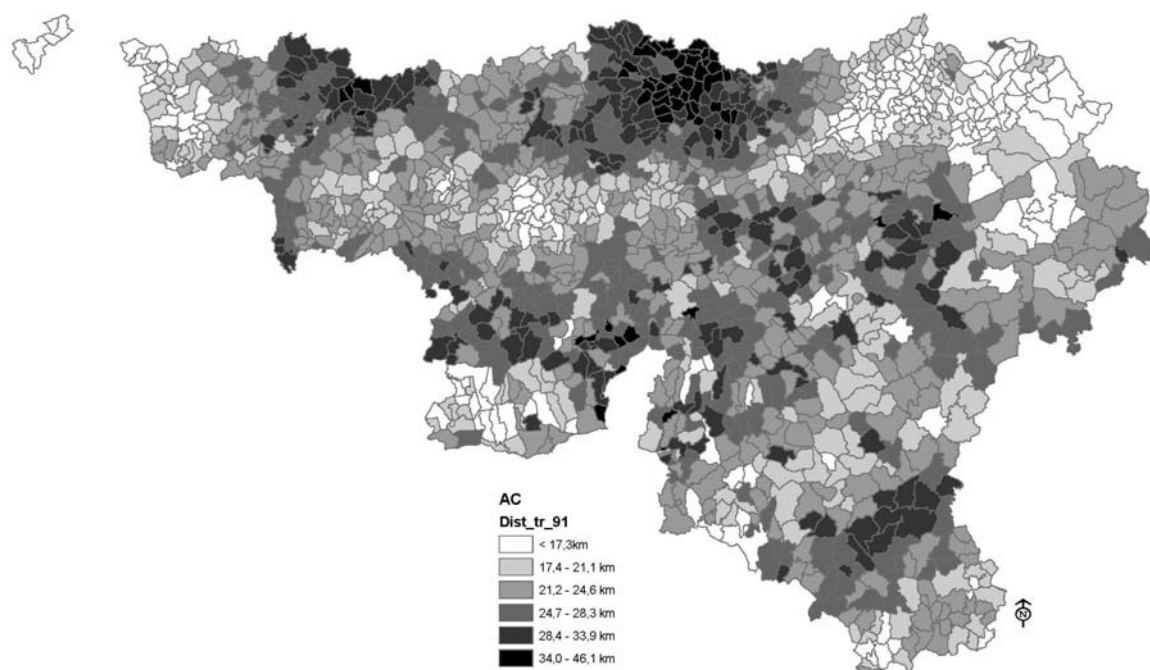


Figure 94 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail, calcul à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 1991

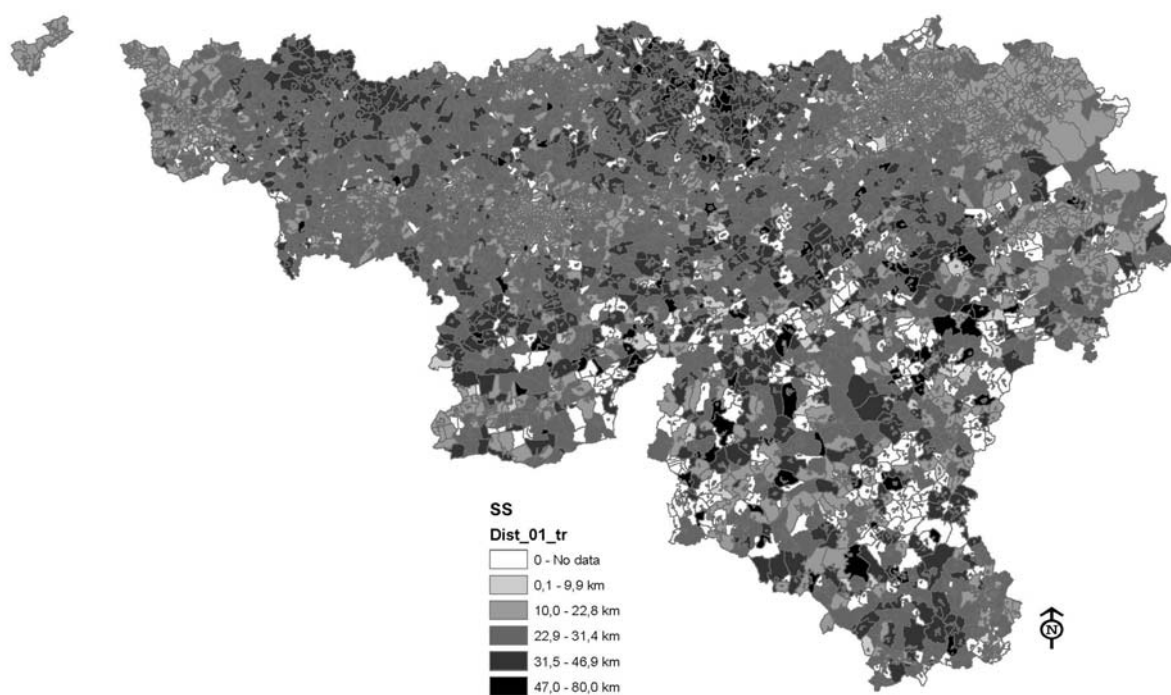


Figure 95 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail, calcul à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001

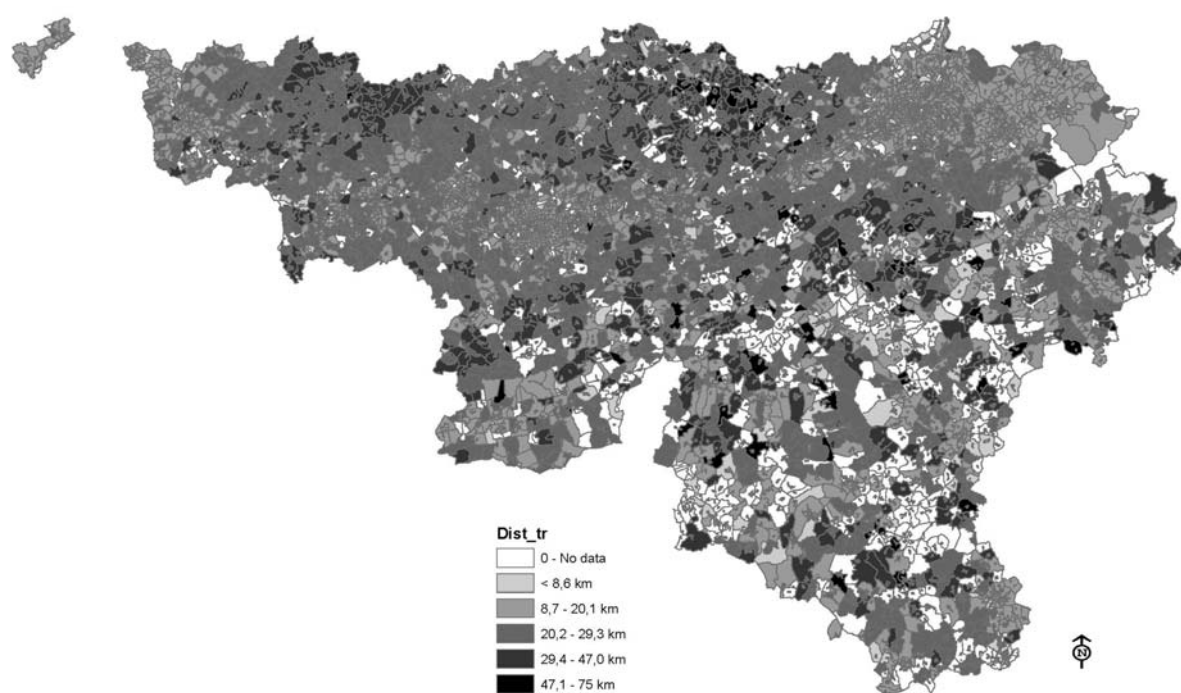


Figure 96 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail, calcul à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991

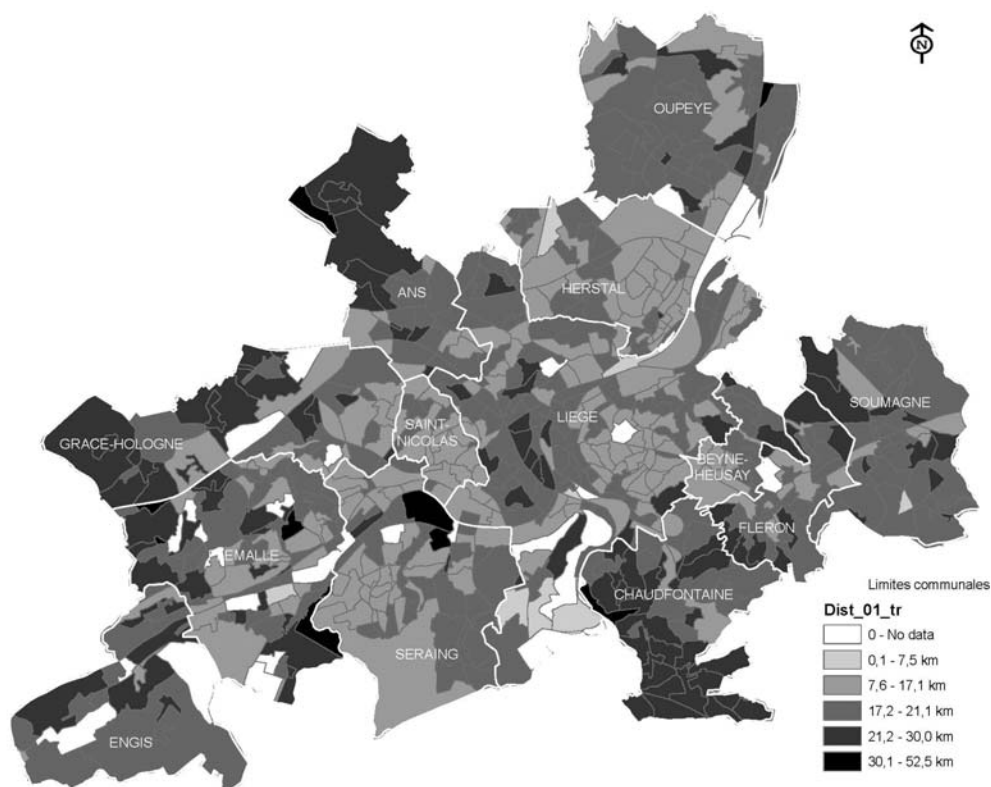


Figure 97 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail, calcul à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991, zoom sur la région urbaine de Liège

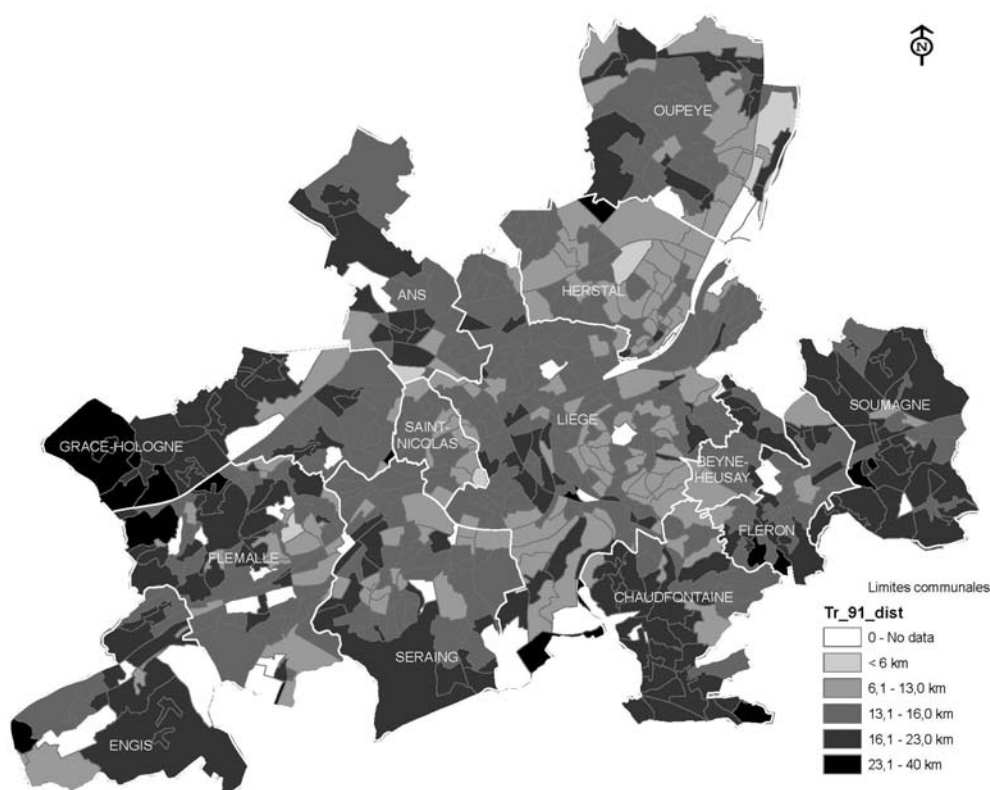


Figure 98 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail, calcul à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991, zoom sur la région urbaine de Liège

Tableau 103 : Calcul des distances moyennes parcourues [km] pour les déplacements domicile-travail, selon la classification des communes de Van der Haegen et al. [1996], (AgO = agglomérations opérationnelles, Ba = banlieues et MA = zones des migrants alternants), pour 1991, 2001 et évolution.

Distance moyenne [km]	1991			2001			Δ		
	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA
TRAVAIL									
Moyenne	17,8	22,5	26,2	21,3	25,5	29,5	3,5	3,0	3,3
(Bruxelles)	21,8	25,3	29,6	23,2	27,2	32,6	1,4	1,9	3,0
Charleroi	18,5	21,7	23,7	21,9	25,7	27,3	3,4	4,0	3,6
Liège	15,2	21,2	24,9	18,6	24,3	28,9	3,4	3,1	4,0
Mons	21,3	23,0	25,7	25,7	27,3	28,7	4,3	4,3	3,0
Namur	20,4	23,9	26,5	13,4	27,8	29,5	3,1	3,9	3,1
La Louvière	20,1	-	21,4	23,9	-	26,1	3,7	-	4,7
Tournai	17,1	20,7	19,1	20,8	23,4	21,4	3,7	2,7	2,3
Verviers	14,2	18,6	14,9	17,6	22,2	17,7	3,4	3,5	2,9

Tableau 104 : Classements des 30 premières communes présentant les distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail les plus faibles, en 1991 et en 2001 à gauche, et, à droite, des 30 communes présentant les distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail les plus élevées, en 1991 et en 2001. Les communes surlignées en jaune appartiennent à des agglomérations opérationnelles, celles surlignées en vert à des banlieues et celles surlignées en rose à des zones de migrants alternants. (Lg = Liège, Ve = Verviers, Ch = Charleroi, Bxl = Bruxelles, Na = Namur).

Les 30 communes les mieux classées [distances parcourues les plus courtes]				Les 30 communes les moins bien classées [distances parcourues les plus longues]			
1991		2001		1991		2001	
EUPEN	11,1	EUPEN	14,1	HERON	28,1	TELLIN	31,4
MOUSCRON	12,1	MOUSCRON	15,8	GESVES [Na]	28,2	GESVES [Na]	31,6
HERSTAL [Lg]	12,9	SAINT-NICOLAS [Lg]	16,3	GREZ-DOICEAU [Na]	28,2	EGHEZEE [Na]	31,8
MALMEDY	13,0	DISON [Ve]	16,4	LESSINES [Bxl]	28,3	ENGHIEN [Bxl]	32,0
SAINT-NICOLAS [Lg]	13,2	HERSTAL [Lg]	16,5	FLOBECQ [Bxl]	28,4	FERRIERES [Lg]	32,0
DISON [Ve]	13,3	LIMBOURG [Ve]	16,8	FERRIERES [Lg]	28,4	PERWEZ [Bxl]	32,0
WELKENRAEDT	13,6	COMINES	16,9	WALHAIN [Bxl]	28,5	CHINY	32,0
LIMBOURG [Ve]	13,7	BAELEN	17,1	VILLERS-LA-VI [Bxl]	28,5	GEMBLOUX [Bxl]	32,1
VERVIERS [Ve]	14,0	SERAING [Lg]	17,2	EGHEZEE [Na]	28,8	LESSINES [Bxl]	32,6
LIEGE [Lg]	14,2	VERVIERS [Ve]	17,4	DOISCHE	28,8	BEAUVECHAIN [Bxl]	32,9
COMINES	14,2	WELKENRAEDT	17,4	BERLOZ [Lg]	29,2	HASTIERE	33,2
SERAING [Lg]	14,3	BEYNE-HEUSAY [Lg]	17,6	LEGLISE	29,5	DOISCHE	33,4
BAELEN	14,4	KELMIS/LA CALAMINE	17,7	CHAUMONTGI [Bxl]	29,5	FLOBECQ [Bxl]	33,4
BEYNE-HEUSAY [Lg]	14,9	MALMEDY	17,9	CERFONTAINE [Ch]	29,6	HERON	33,5
SPA	14,9	AUBEL	18,2	BURDINNE	29,8	MANHAY	33,6
AUBEL	15,1	LIEGE [Lg]	18,4	FAUVILLERS	29,9	LEGLISE	34,1

PEPINSTER [Ve]	15,2	GRACE-HOLLOGNE [Lg]	18,6	CHASTRE [Bxl]	30,0	INCOURT [Bxl]	34,1
HERVE	15,4	THIMISTERCLERM [Ve]	18,6	BRAIVES	30,6	BRAIVES	34,8
ANS [Lg]	15,5	HERVE	18,7	BEAUVECHAIN [Bxl]	30,6	BERLOZ [Bxl]	34,9
FLERON [Lg]	15,5	LONTZEN	18,7	PERWEZ [Bxl]	30,8	JODOIGNE [Bxl]	35,0
OUPEYE [Lg]	15,5	FLEMALLE [Lg]	18,8	ENGHIEN [Bxl]	31,2	DAVERDISSE	35,6
FLEMALLE [Lg]	15,6	SPA	18,8	INCOURT [Bxl]	31,7	BURDINNE	36,4
CHIMAY	15,7	FLERON [Lg]	18,9	HANNUT [Bxl]	31,8	WASSEIGES [Bxl]	36,5
LONTZEN	15,8	OUPEYE [Lg]	19,0	JODOIGNE [Bxl]	32,8	HANNUT [Bxl]	36,5
KELMIS/LACALAM	15,9	PEPINSTER [Ve]	19,0	SILLY [Bxl]	33,4	SILLY [Bxl]	36,5
ESTAIMPUIS	16,0	PLOMBIERES	19,1	WASSEIGES [Bxl]	33,5	FAUVILLERS	37,3
WISE	16,0	ESTAIMPUIS	19,2	HELECINE [Bxl]	37,6	RAMILLIES [Bxl]	40,8
CHARLEROI	16,0	ANS [Lg]	19,3	ORP-JAUCHE [Bxl]	38,6	ORP-JAUCHE [Bxl]	41,4
THIMISTER-CLERM	16,1	SOUMAGNE [Lg]	19,7	RAMILLIES [Bxl]	38,8	HELECINE [Bxl]	42,4
GRACE-HOLLOGNE	16,2	ENGIS [Lg]	19,8	LINCENT [Bxl]	42,3	LINCENT [Bxl]	43,1

Comme pour l'indice de localisation des déplacements domicile-travail, les observations suivantes peuvent être mises en évidence :

- Une augmentation des distances parcourues avec l'augmentation de la distance au centre (effet auréolaire) ;
- Parmi les 30 communes où les distances parcourues sont les plus faibles, on retrouve de nombreuses communes des agglomérations opérationnelles de Liège et de Verviers (peut-être est-ce du en partie au fait que la fusion des communes à Liège a maintenu une série de communes de petite taille autour de Liège, alors qu'à Namur notamment, de nombreuses anciennes communes ont été intégrées dans la « nouvelle » commune de Namur. Pour une même superficie, on a donc une seule commune à Namur et plusieurs à Liège) ;
- Des communes secondaires comme Eupen et Mouscron se distinguent également par de faibles distances parcourues ;
- Les communes où les distances domicile-travail parcourues sont les plus élevées sont situées dans la banlieue et la zone des migrants alternants de Bruxelles (attiré de Bruxelles qui mobilise des travailleurs habitant à une grande distance de la capitale couplé au prix élevé des terrains à proximité de Bruxelles qui force les ménages à chercher des terrains moins chers mais plus éloignés de la ville) ;
- On retrouve aussi en bas de classement quelques communes rurales de la Province de Luxembourg ;
- La tendance est à l'augmentation généralisée des distances parcourues entre 1991 et 2001. La moyenne des distances parcourues en 1991 est de 20,2 kilomètres. La moyenne des distances parcourues en 2001 passe à 24,0 kilomètres. Ces valeurs moyennes sont inférieures aux distances moyennes parcourues dans les banlieues, ce qui signifie que la catégorie « autre » de la classification de Van der Haegen et al. [1996] regroupe bien une série de réalités diverses, et notamment des communes et pôles secondaires où les distances parcourues sont réduites par rapport à des communes de banlieues ou de zones de migrants alternants ;
- La différence entre les distances les plus faibles et les distances les plus élevées est très importante (14,1 kilomètres à Eupen contre 43,1 kilomètres à Lincent, en 2001).

8.4.3. Les déplacements scolaires

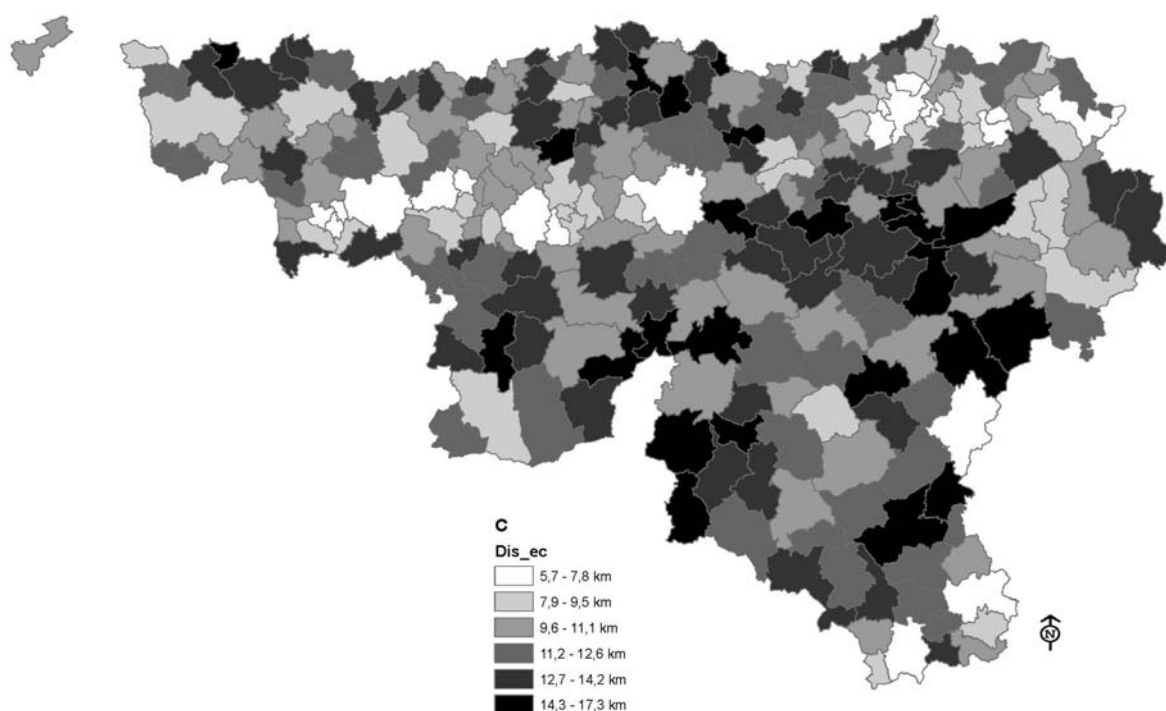


Figure 99 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-école, calcul à l'échelle de la commune, données INS de 2001

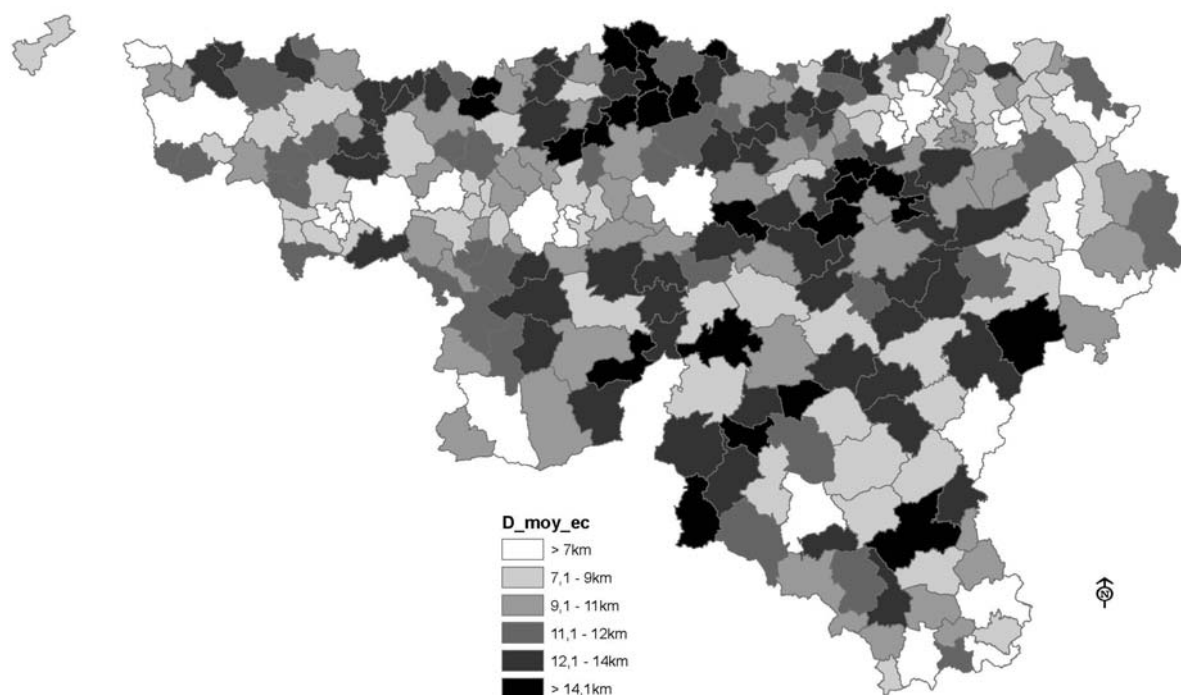


Figure 100 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile- école, calcul à l'échelle de la commune données INS de 1991

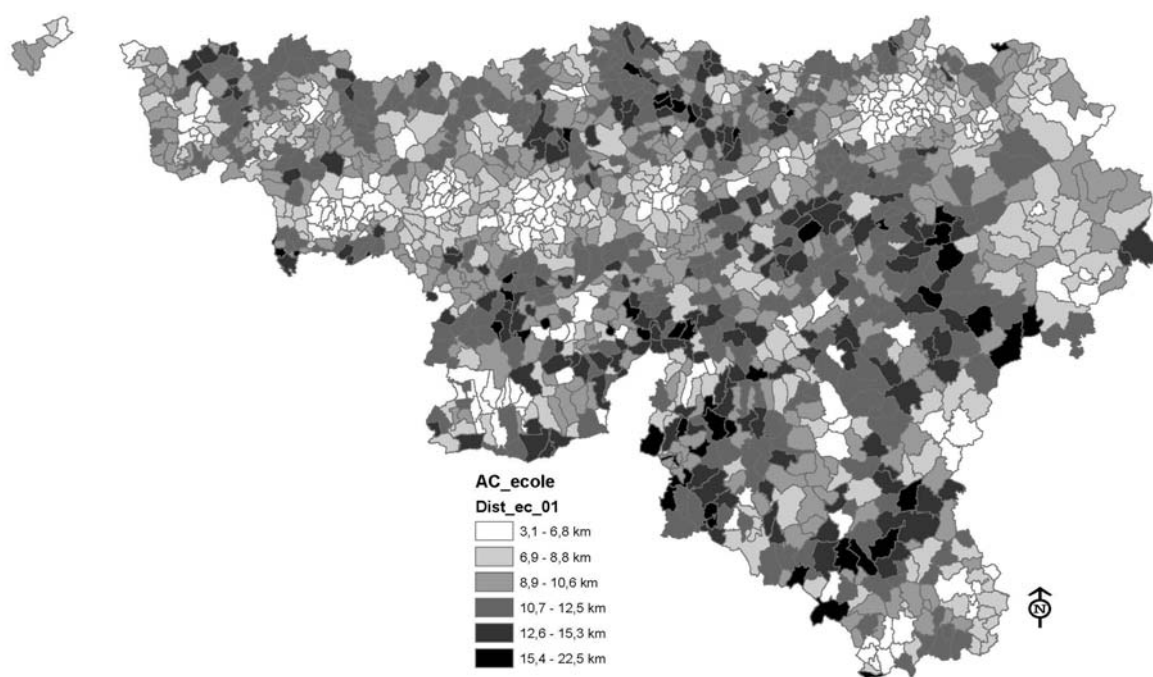


Figure 101 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile- école, calcul à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 2001

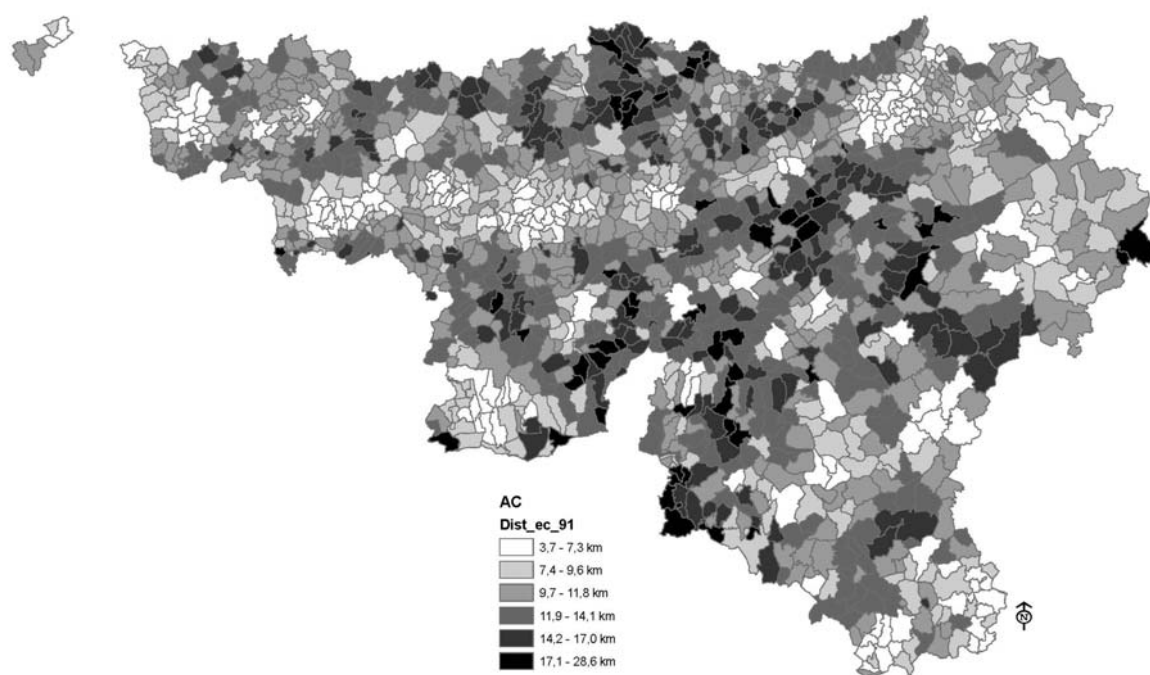


Figure 102 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile- école, calcul à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 1991

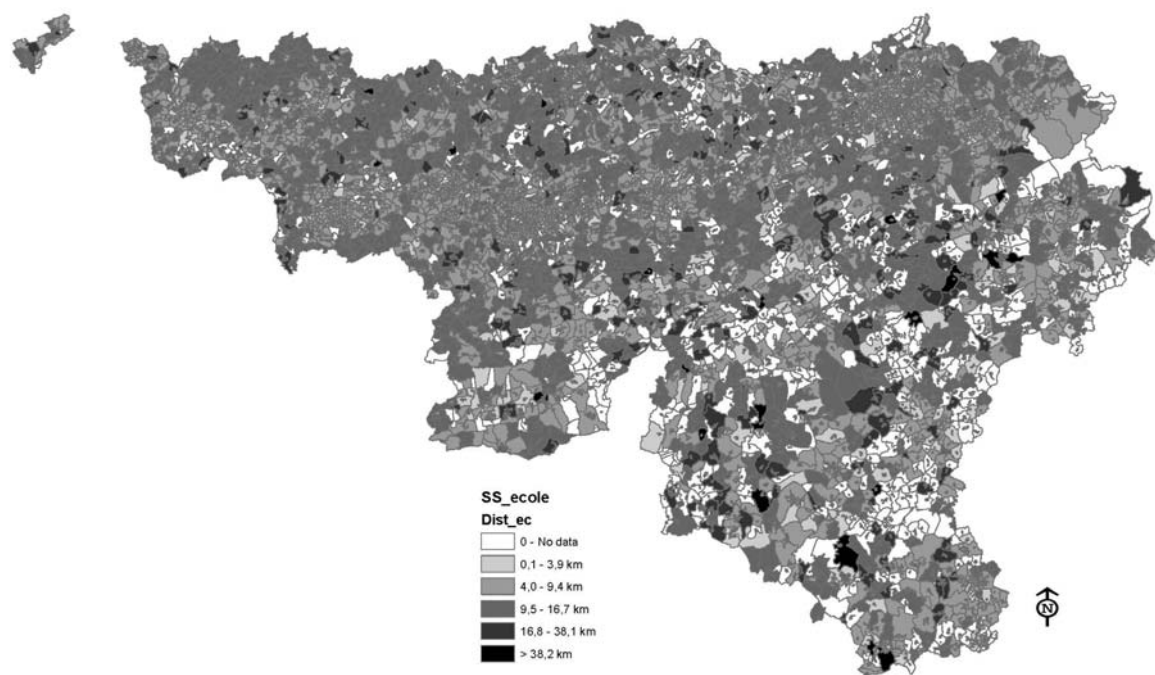


Figure 103 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile- école, calcul à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001

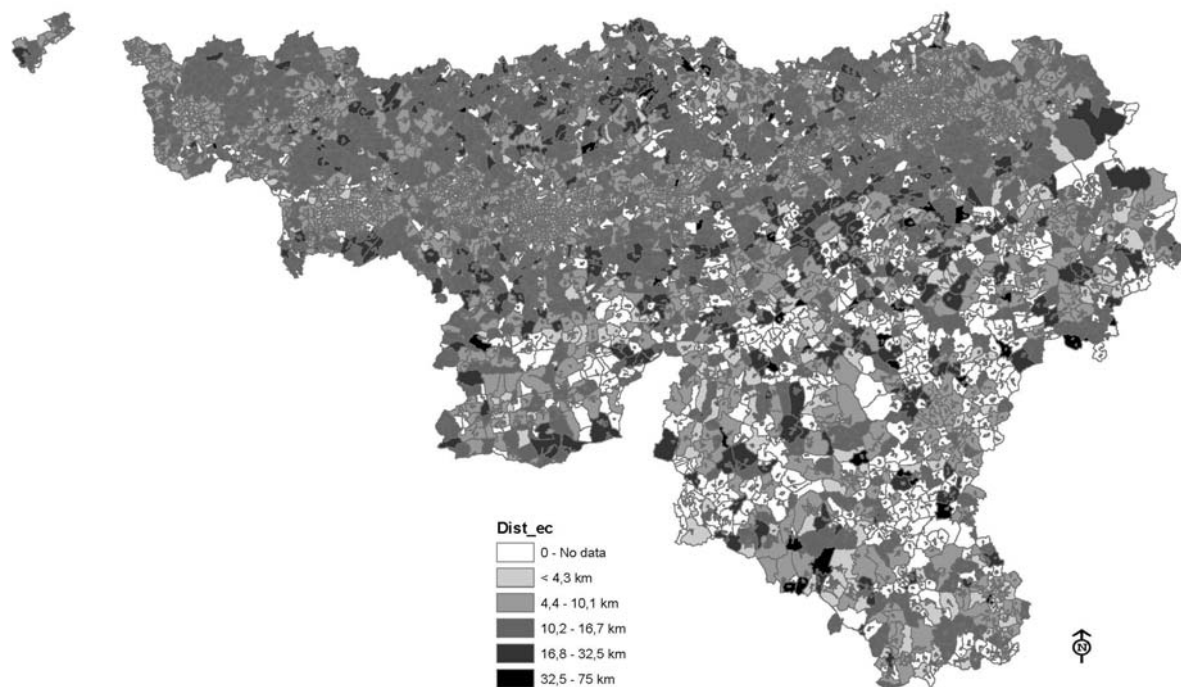


Figure 104 : Distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile- école, calcul à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991

Tableau 105 : Calcul des distances moyennes parcourues [km] pour les déplacements domicile-école, selon la classification des communes de Van der Haegen et al. [1996], (AgO = agglomérations opérationnelles, Ba = banlieues et MA = zones des migrants alternants), pour 1991, 2001 et évolution.

Distance moyenne [km]	1991			2001			Δ		
	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA	AgO	Ba	MA
TRAVAIL									
Moyenne	6,9	11,2	10,9	7,6	11,1	11,2	0,7	-0,1	0,4
(Bruxelles)	10,2	11,6	11,6	10,5	10,9	11,6	0,3	-0,7	0
Charleroi	6,7	10,6	10,2	7,5	11,0	11,1	0,8	0,4	0,9
Liège	6,5	11,4	10,8	7,1	11,5	11,4	0,6	0,1	0,5
Mons	6,6	10,4	8,7	7,3	11,0	9,3	0,7	0,6	0,6
Namur	6,9	11,0	10,9	7,4	10,8	10,9	0,5	-0,3	0
La Louvière	7,1	-	8,8	8,0	-	9,3	0,9	-	0,5
Tournai	7,0	10,6	11,6	8,4	10,9	13,0	1,4	0,3	1,4
Verviers	6,6	10,5	9,5	7,7	11,3	10,9	1,1	0,8	1,3

Tableau 106 : Classements des 30 premières communes présentant les distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-école les plus faibles, en 1991 et en 2001 à gauche, et, à droite, des 30 communes présentant les distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-école les plus élevées, en 1991 et en 2001. Les communes surlignées en jaune appartiennent à des agglomérations opérationnelles, celles surlignées en vert à des banlieues et celles surlignées en rose à des zones de migrants alternants. (Lg = Liège, Ve = Verviers, Ch = Charleroi, Bxl = Bruxelles, Na = Namur).

Les 30 communes les mieux classées [distances parcourues les plus courtes]				Les 30 communes les moins bien classées [distances parcourues les plus longues]			
1991		2001		1991		2001	
SAINT-NICOLAS [Lg]	5,0	SAINT-NICOLAS [Lg]	5,7	CHAUMONT [Bxl]	13,8	HAVELANGE	14,0
ARLON	5,1	LIEGE [Lg]	6,1	MANHAY	13,9	WELLIN	14,0
VIRTON	5,2	SERAING [Lg]	6,3	HAVELANGE	13,9	BEAUVECHAIN [Bxl]	14,1
LIEGE [Lg]	5,2	HERSTAL [Lg]	6,5	ORP-JAUCHE [Bxl]	14,0	BIEVRE	14,1
BASTOGNE	5,6	BOUSSU [Mo]	6,7	LASNE [Bxl]	14,0	NANDRIN [Lg]	14,2
EUPEN	5,6	BEYNE-HEUSAY [Lg]	6,7	DONCEEL [Lg]	14,0	PERWEZ [Bxl]	14,2
HERSTAL [Lg]	5,8	MONS [Mo]	6,8	LEGLISE	14,1	FERRIERES [Lg]	14,5
QUAREGNON [Mo]	5,9	QUAREGNON [Mo]	7,0	CHASTRE [Bxl]	14,2	FROIDCHAPELLE	14,5
CHARLEROI [Ch]	6,0	CHARLEROI [Ch]	7,0	GREZ-DOICEAU [Na]	14,2	HAMOIR [Lg]	14
SERAING [Lg]	6,1	BASTOGNE	7,0	NANDRIN [Lg]	14,3	GESVES [Na]	14,6
MONS [Mo]	6,3	CHATELET [Ch]	7,1	GESVES [Na]	14,3	INCOURT [Bxl]	14,7
VERVIERS [Ve]	6,3	EUPEN	7,2	VILLERS-LAVIL [Bxl]	14,4	BURDINNE	14,7
AUBANGE	6,4	NAMUR [Na]	7,4	ANTHISNES [Lg]	14,4	TENNEVILLE	14,7
FARCIENNES [Ch]	6,4	DISON [Ve]	7,4	BRAINE-LE-CH [Bxl]	14,4	MANHAY	14,8
CHIMAY	6,4	COLFONTAINE [Mo]	7,5	ITTRE [Bxl]	14,5	HOUYET	14,9
BOUSSU [Mo]	6,4	LA LOUVIERE [Li]	7,6	HOUYET	14,5	HOUFFALIZE	150

DISON [Lg]	6,5	FLERON [Lg]	7,7	GOUVY	14,5	LINCENT [Bxl]	15,1
COLFONTAINE [Mo]	6,6	ARLON	7,7	HAMOIR	14,6	VILLERS-LA-VILLE [Bxl]	15,2
LA LOUVIERE [Li]	6,6	VERVIERS [Ve]	7,7	TELLIN	14,6	MONT-DE-L'ENCLUS	15,2
MOUSCRON	6,7	VIRTON	7,7	DOISCHE	15,0	GEDINNE	15,2
CHATELET [Ch]	6,8	MANAGE [Li]	7,8	RAMILLIES [Bxl]	15,1	STOUMONT [Lg]	15,5
MALMEDY	6,8	MALMEDY	8,0	TINLOT [Lg]	15,4	VRESSE-SUR-SEMOIS	15,5
SAINT-VITH	6,8	ANS [Lg]	8,1	WALHAIN [Bxl]	15,6	DOISCHE	15,6
BERTRIX	6,9	GRACE-HOLOGNE [Lg]	8,2	PERWEZ [Bxl]	15,8	FAUVILLERS	15,7
NAMUR [Na]	6,9	MOUSCRON	8,2	HELECINE [Bxl]	15,8	CLAVIER [Lg]	15,9
TOURNAI [To]	7,0	BAELEN	8,3	INCOURT [Bxl]	16,2	LEGLISE	16,6
BEYNE-HEUSAY [Lg]	7,0	HUY	8,3	DAVERDISSE	16,2	RAMILLIES [Bxl]	16,7
MORLANWELZ [Li]	7,1	PEPINSTER [Ve]	8,3	BEAUVECHAIN [Bxl]	6,2	DAVERDISSE	16,8
FLERON [Lg]	7,1	TOURNAI [To]	8,4	CLAVIER [Lg]	16,3	GOUVY	16,9
ROUVROY	7,3	SOUMAGNE [Lg]	8,4	VRESSE-SUR-	19,0	HASTIERE	17,3

Les distances parcourues pour les déplacements domicile-école dans les communes appartenant aux agglomérations morphologiques sont les plus courtes. On remarque une augmentation des distances parcourues entre les communes de l'agglomération opérationnelle et les communes de banlieues alors que les distances parcourues dans les zones de migrants alternants restent semblables, voire légèrement inférieures à celles parcourues dans les banlieues.

La tendance est à l'augmentation (ou à la stabilisation pour les banlieues) des distances parcourues pour les déplacements domicile-école entre 2001 et 1991. Charleroi, Liège et Mons présentent des distances parcourues faibles, mais l'augmentation 2001 /1991 est supérieure dans ces zones.

Les villes et communes situées dans les agglomérations opérationnelles, surtout celles de Liège, Mons et Charleroi, se distinguent dans le haut du classement où on remarque, contrairement au même tableau proposé par les déplacements domicile-travail, la présence de Liège, Charleroi, Mons, Namur. Les communes de bas de classement, c'est-à-dire celles où les distances parcourues pour les déplacements domicile-école sont les plus élevées, sont majoritairement des communes de banlieues, de zones de migrants alternants (essentiellement dans l'orbite de Bruxelles) ou des petites communes « rurales ».

8.4.4. La comparaison des distances parcourues pour le « travail » et l' « école »

Cette section a pour objet de confronter les distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail avec les distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-école. Les cartes relatives aux déplacements domicile-travail sont celles présentées plus haut dans ce rapport. Les cartes relatives aux déplacements domicile-école ont été adaptées de façon à ce que l'échelle graphique utilisée soit la même que l'échelle graphique des cartes relatives aux distances domicile-travail. Les cartes à l'échelle de la commune ne sont pas présentées car les distances parcourues pour les déplacements domicile-école sont toutes incluses dans la première classe des distances parcourues pour les déplacements domicile-travail (moins de 17 kilomètres en 1991, moins de 19 kilomètres en 2001).

On remarque sur les cartes suivantes que les distances parcourues pour les déplacements domicile-école sont nettement inférieures aux distances domicile-travail. Ce phénomène s'explique par une plus grande diffusion des écoles (primaires et secondaires) sur l'ensemble du territoire de la Région wallonne.

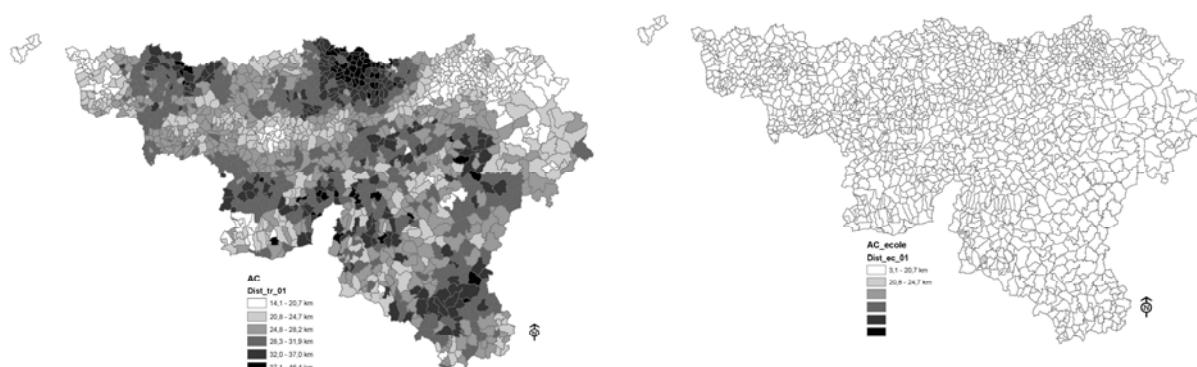


Figure 105 : Comparaison des distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail (à gauche) et scolaires (à droite), calculs à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 2001. Les deux graphiques utilisent la même échelle graphique.

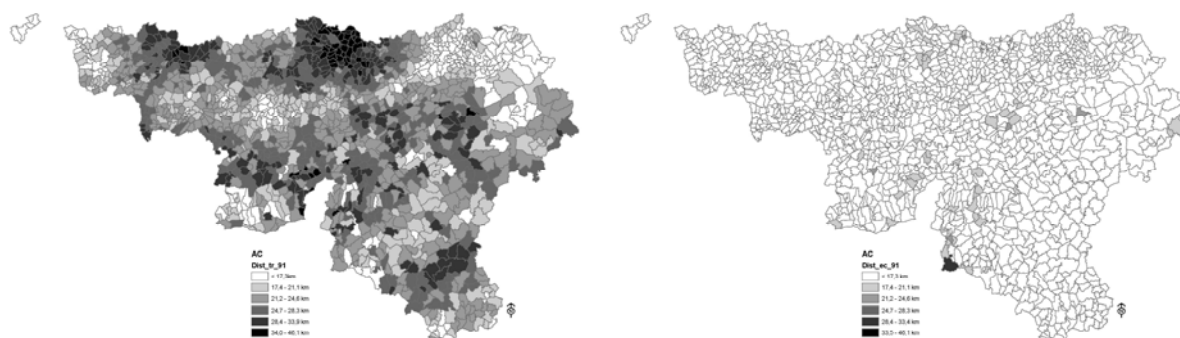


Figure 106 : Comparaison des distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail (à gauche) et scolaires (à droite), calculs à l'échelle de l'ancienne commune, données INS de 1991. Les deux graphiques utilisent la même échelle graphique.



Figure 107 : Comparaison des distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail (à gauche) et scolaires (à droite), calculs à l'échelle du secteur statistique, données INS de 2001. Les deux graphiques utilisent la même échelle graphique.



Figure 108 : Comparaison des distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail (à gauche) et scolaires (à droite), calculs à l'échelle du secteur statistique, données INS de 1991. Les deux graphiques utilisent la même échelle graphique.

8.5. L'évolution temporelle 1991-2001

8.5.1. L'indice de localisation

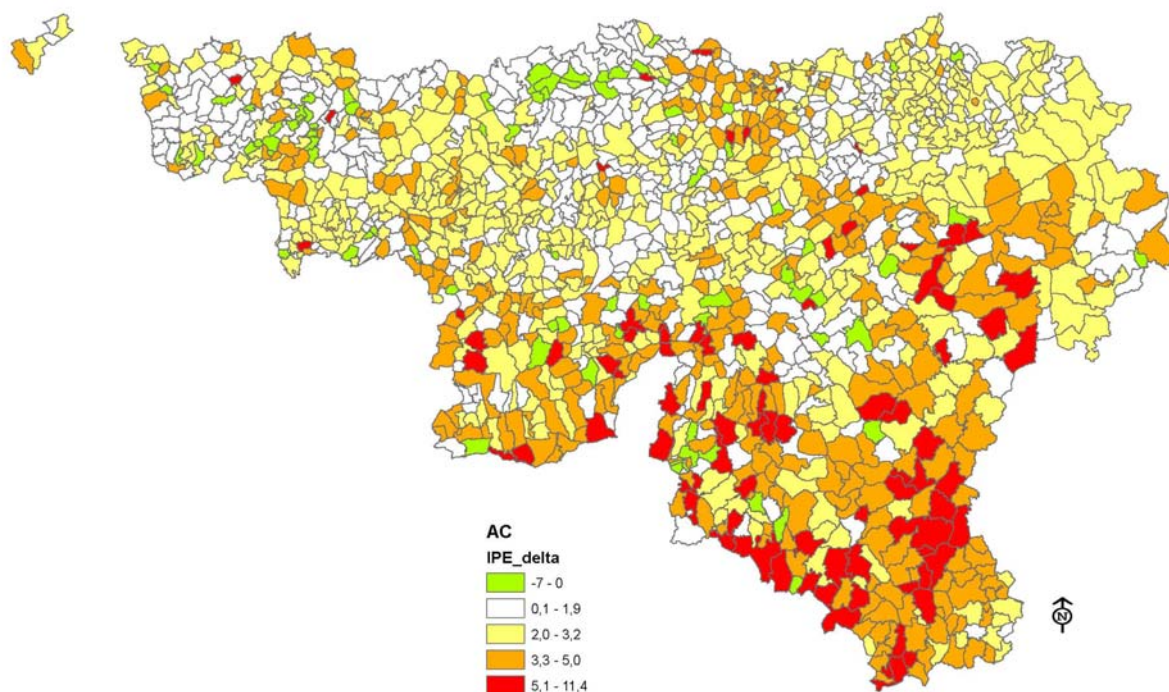


Figure 109 : Comparaison (par soustraction) des indices de localisation relatifs aux déplacements domicile-travail, calculés pour 2001 et 1991, à l'échelle de l'ancienne commune

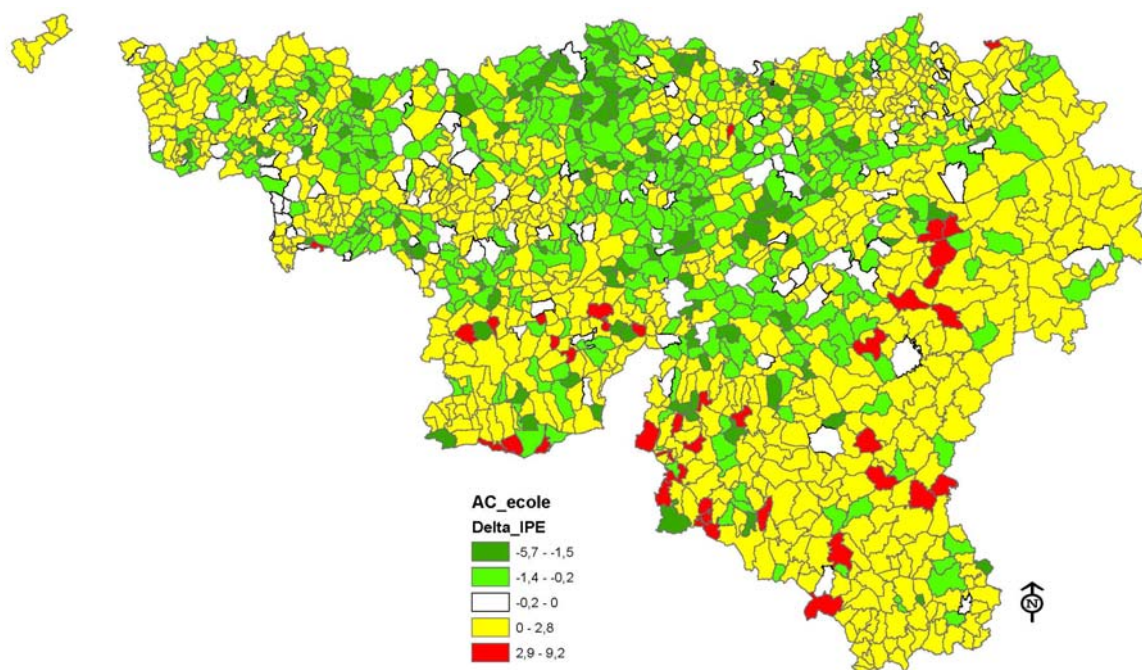


Figure 110 : Comparaison (par soustraction) des indices de localisation relatifs aux déplacements domicile-école, calculés pour 2001 et 1991, à l'échelle de l'ancienne commune

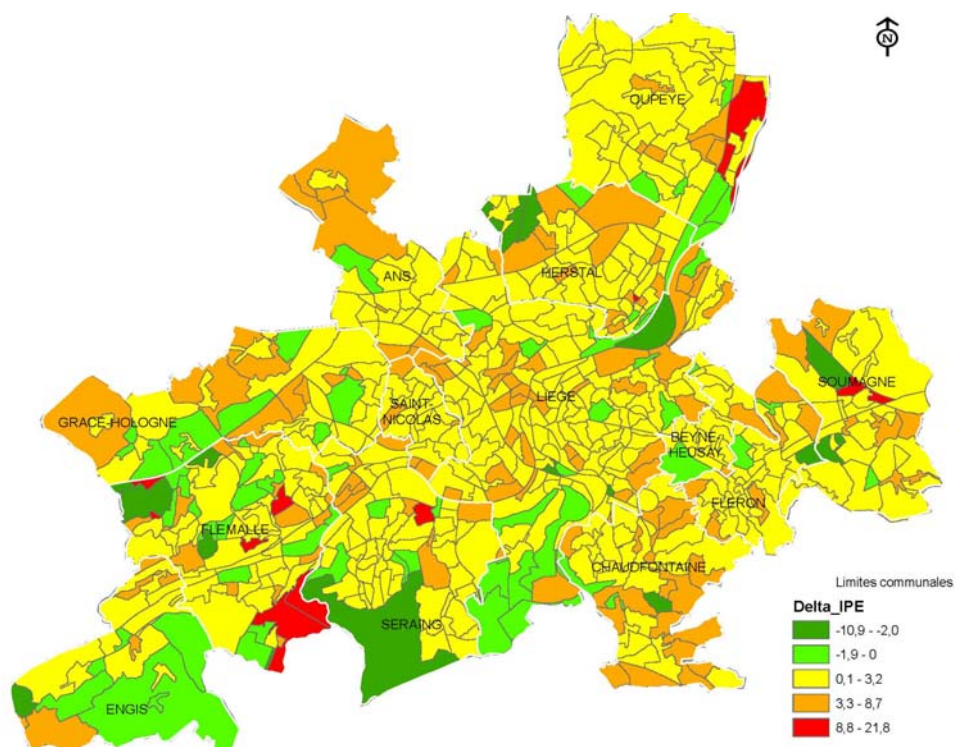


Figure 111 : Comparaison (par soustraction) des indices de localisation relatifs aux déplacements domicile-travail, calculés pour 2001 et 1991, à l'échelle du secteur statistique, région urbaine de Liège

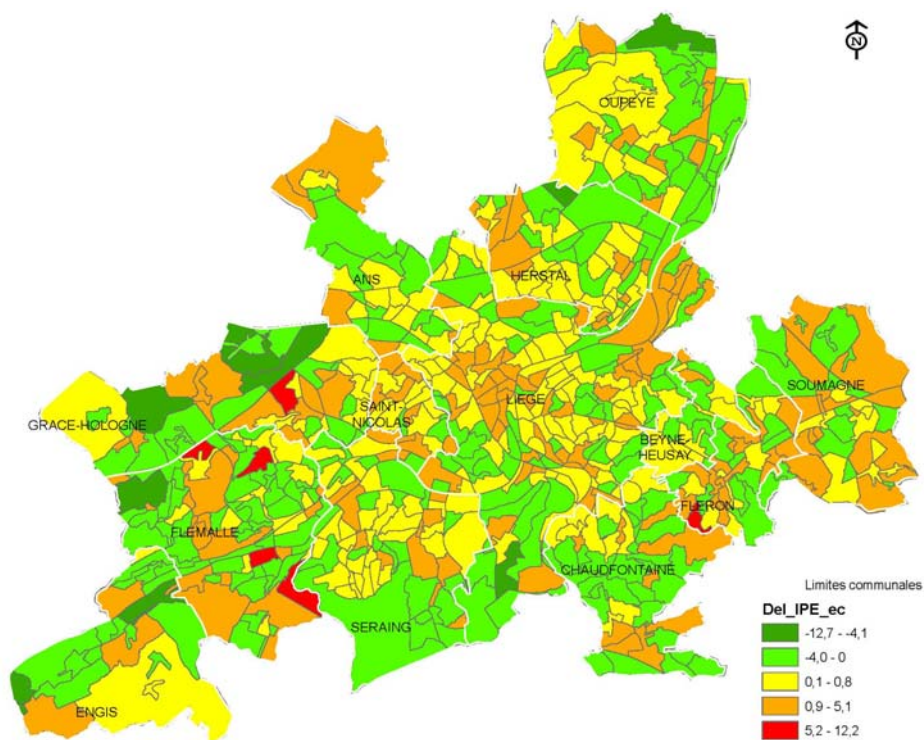


Figure 112 : Comparaison (par soustraction) des indices de localisation relatifs aux déplacements domicile-école, calculés pour 2001 et 1991, à l'échelle du secteur statistique, région urbaine de Liège

Les cartes précédentes présentent l'évolution temporelle (« valeur de l'indice en 2001 » - « valeur de l'indice en 1991 ») de l'indice de localisation des déplacements domicile-travail puis domicile-école, à l'échelle de l'ancienne commune. Un zoom, à l'échelle du secteur statistique est réalisé sur la région urbaine de Liège pour les indices de localisation des déplacements domicile-travail (en haut) et domicile-école (en bas).

La première figure montre une augmentation de la valeur de l'indice de localisation pour les déplacements domicile-travail quasi généralisée sur l'ensemble de la Région wallonne (seule la classe représentée en vert signifie une diminution de l'indice en 2001 par rapport à 1991). L'indice de localisation pour les déplacements domicile-travail a particulièrement augmenté dans la partie sud de la Région (sud de la Province de Luxembourg en particulier où cet effet est dû à une augmentation significative du nombre de travailleurs transfrontaliers, et sud du Hainaut et de Namur). L'indice de localisation pour les déplacements domicile-travail tend à stagner ou à augmenter légèrement dans la partie ouest du Hainaut et dans la périphérie sud de Bruxelles, où on note même une diminution des consommations dans certaines anciennes communes de Lasne, Nivelles, Chaumont-Gistoux, Ottignies-Louvain-la-Neuve et Wavre.

Pour les déplacements domicile-école, l'indice de localisation augmente légèrement dans toute la partie sud de la Région wallonne (secteurs colorés en blanc et en jaunes) mais diminue légèrement dans une vaste zone comprenant des anciennes communes du Brabant wallon et des anciennes communes du sillon Sambre et Meuse.

A l'échelle du secteur statistique, le zoom sur la région urbaine de Liège met en évidence une augmentation limitée (classe représentées en jaune) de l'indice de localisation des déplacements domicile-travail dans les quartiers centraux de Liège, Herstal, Saint-Nicolas et Seraing mais aussi dans les quartiers périphériques (Soumagne, Chaudfontaine, Oupeye, etc.). Quelques secteurs statistiques de Seraing et Engis présentent une diminution de l'indice mais la prudence est de mise dans l'interprétation car le faible nombre de répondants dans ces secteurs statistiques majoritairement couverts de bois peut prêter à des biais.

8.5.2. L'indice des parts modales

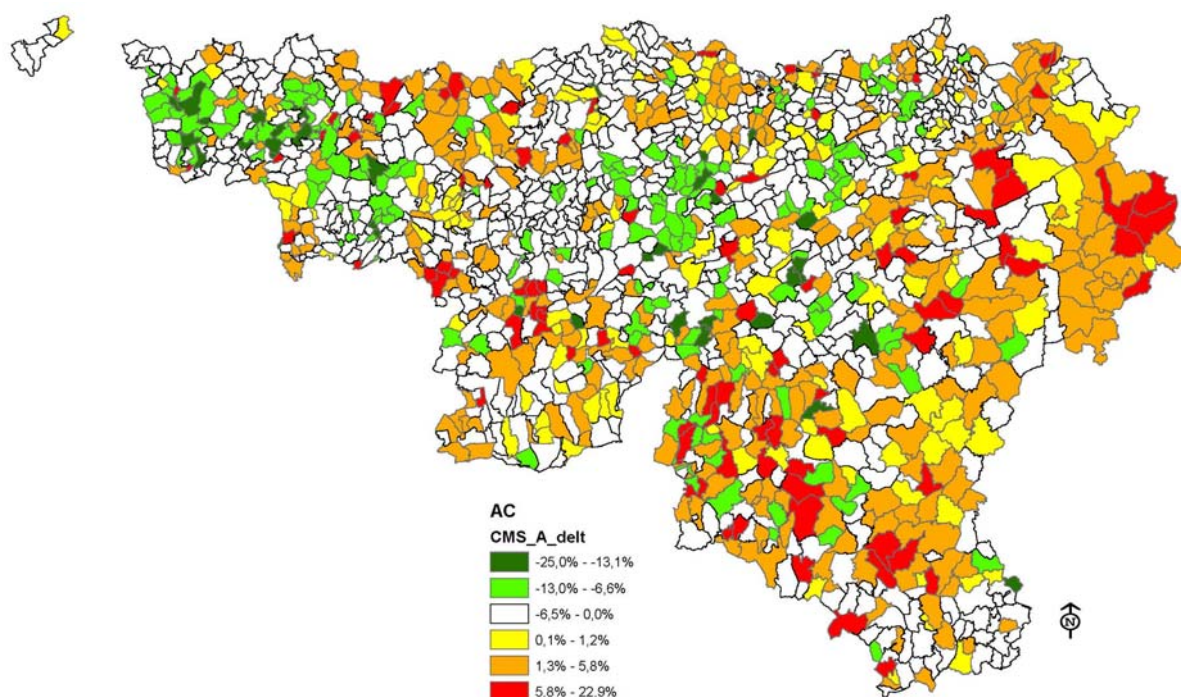


Figure 113 : Comparaison (par soustraction) des indices de la part modale de la « voiture », pour les déplacements domicile-travail, calculés pour 2001 et 1991, à l'échelle de l'ancienne commune

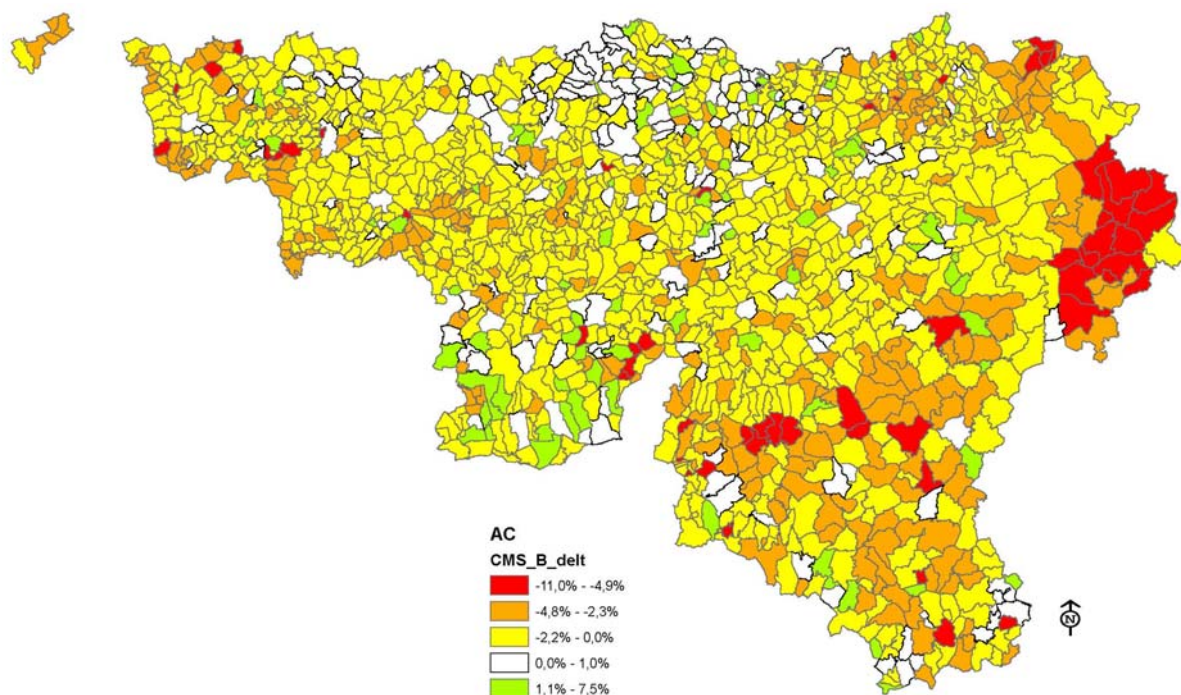


Figure 114 : Comparaison (par soustraction) des indices de la part modale du « bus », pour les déplacements domicile-travail, calculés pour 2001 et 1991, à l'échelle de l'ancienne commune

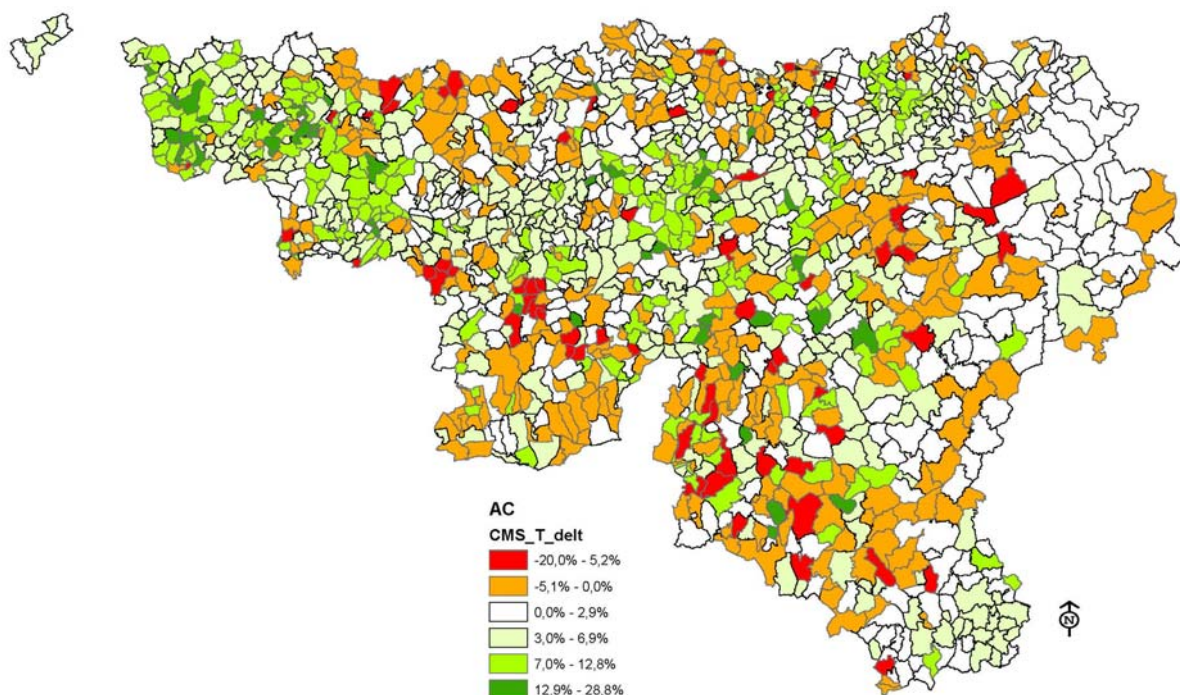


Figure 115 : Comparaison (par soustraction) des indices de la part modale du « train », pour les déplacements domicile-travail, calculés pour 2001 et 1991, à l'échelle de l'ancienne commune

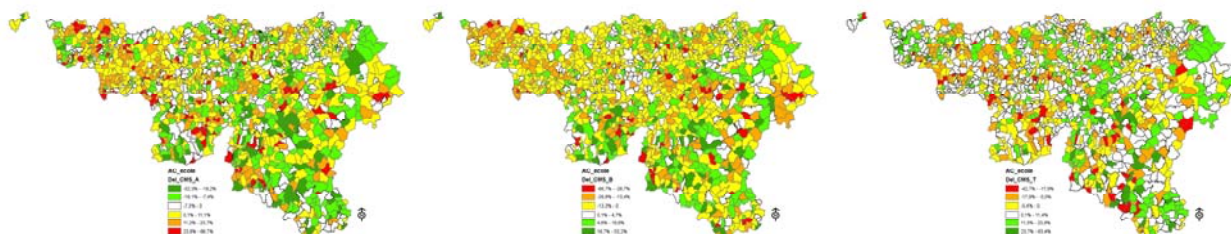


Figure 116 : Comparaison (par soustraction) des indices des parts modales relatifs aux déplacements domicile-école, calculés pour 2001 et 1991, à l'échelle de l'ancienne commune

Les cartes précédentes présentent la variation des indices de parts modales relatives à la voiture, au bus et au train pour les déplacements domicile-travail (trois premières figures) puis pour les déplacements domicile-école (dernière figure).

En ce qui concerne les déplacements domicile-travail, on remarque une plus grande utilisation de la voiture au dépend des transports en commun dans la province de Luxembourg, l'est de la Région et la périphérie sud-ouest de Bruxelles. L'usage de la voiture semble se tasser dans l'ouest du Hainaut et le long de l'ancien sillon industriel. Le bus est en recul dans la plupart des anciennes communes wallonnes. Ce recul reste limité à moins 2,2% à l'exception du sud du Luxembourg et de l'est de la Région où il peut atteindre 11%. On note une légèrement augmentation de l'indice des parts modales du bus dans la périphérie de Bruxelles. L'indice des

parts modales du train augmente de façon significative dans de nombreuses anciennes communes de Wallonie, et notamment dans celles de l'ouest du Hainaut (report modal de la voiture sur le train), celles situées autour de Liège, Namur et Charleroi. L'indice des parts modales du train est en recul dans certaines communes de la périphérie bruxelloises et dans certaines communes du sud du Hainaut et du Luxembourg (proximité du Grand-Duché).

Pour les déplacements domicile-école, l'interprétation est plus complexe. L'usage de la voiture et du bus semble se tasser dans la partie ouest du Hainaut, au profit d'un usage plus large du train. Dans les autres régions, l'évolution de l'indice des parts modales, entre 2001 et 1991, semblent répondre à des spécificités locales (l'usage de la voiture peut, par exemple, se réduire dans une ancienne commune, au profit du train alors que dans la commune voisine, c'est le contraire).

8.5.3. Les distances moyennes parcourues

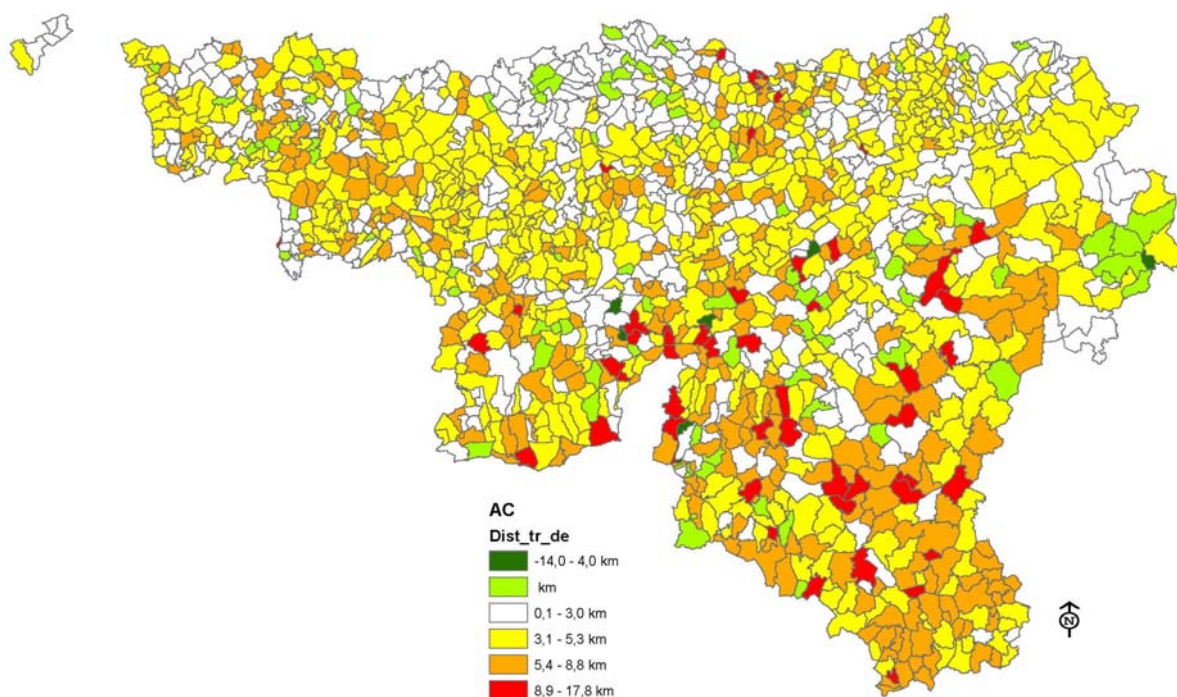


Figure 117 : Comparaison (par soustraction) des distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail, calculées pour 2001 et 1991, à l'échelle de l'ancienne commune

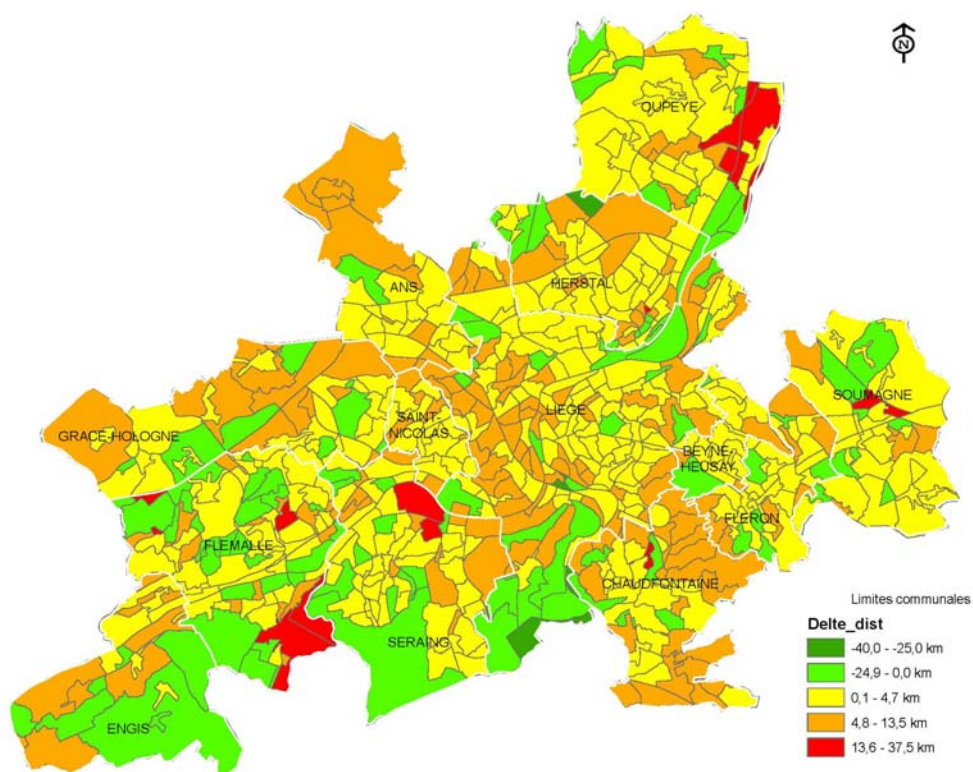


Figure 118 : Comparaison (par soustraction) des distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-travail, calculées pour 2001 et 1991, à l'échelle du secteur statistique, région urbaine de Liège

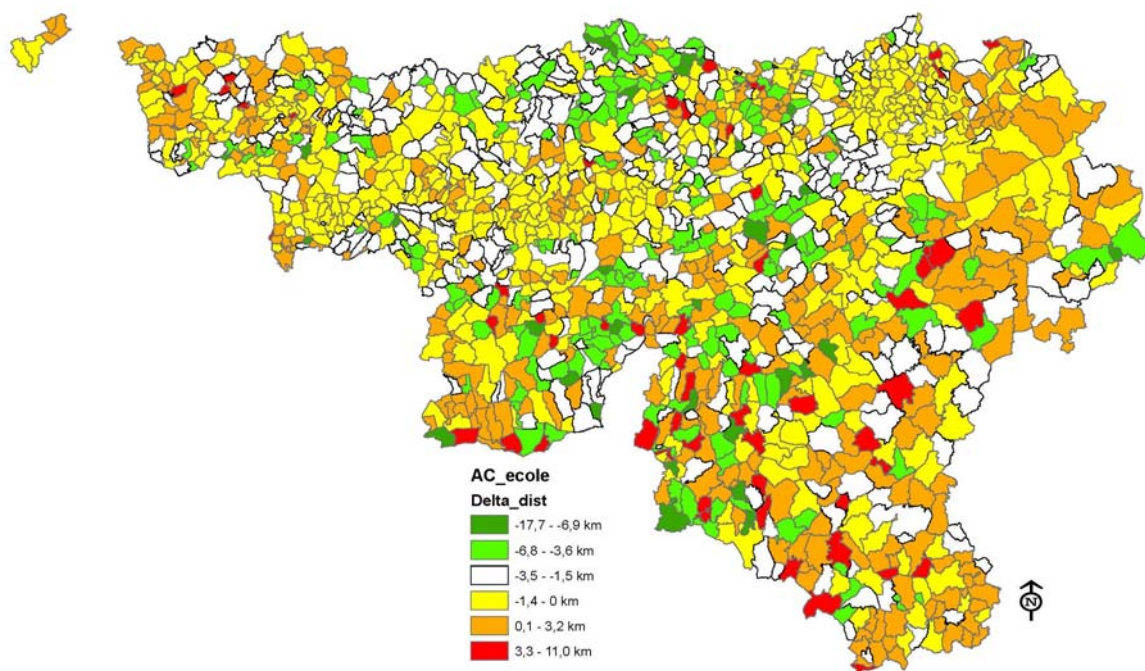


Figure 119 : Comparaison (par soustraction) des distances moyennes parcourues pour les déplacements domicile-école, calculées pour 2001 et 1991, à l'échelle de l'ancienne commune

Les cartes précédentes représentent l'évolution des distances parcourues pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de l'ancienne commune pour à l'échelle du secteur statistique sur le zoom sur la région urbaine de Liège, puis pour les déplacements domicile-école, à l'échelle de l'ancienne commune.

En ce qui concerne les déplacements domicile-travail, l'augmentation des distances est généralisée sur le territoire de la Région wallonne (les classes représentées en blanc, en jaune en orange et en rouge signifient une augmentation des distances parcourues). Cette augmentation est particulièrement sensible dans le sud de la Province de Luxembourg et peut s'expliquer par une augmentation du nombre de travailleurs transfrontaliers se rendant à Luxembourg-Ville et donc une périurbanisation en croissance dans ces communes où la disponibilité foncière est encore bonne et les prix moins influencés par la proximité immédiate du Grand-duché de Luxembourg (à confronter ultérieurement avec l'évolution de la population depuis 1970). La périphérie bruxelloise est marquée par une augmentation limitée des distances parcourues, voire une légère diminution, notamment à Lasne. Il faudra ultérieurement confronter cette observation à des données relatives à la création de nouveaux pôles d'emplois en périphérie bruxelloise, ce qui pourrait expliquer que des actifs travaillant à Bruxelles trouvent maintenant des emplois plus locaux. Si cette hypothèse est confirmée, elle plaide pour une meilleure mixité des fonctions comme levier pour diminuer les distances parcourues et donc diminuer également les consommations d'énergie relatives aux déplacements domicile-travail.

Les distances parcourues dans les anciennes communes situées autour des villes wallonnes augmentent légèrement, ce qui peut s'expliquer également par une périurbanisation croissante des ménages qui cherchent à se loger en périphérie (disponibilité foncière, prix plus bas qu'en première couronne) tout en continuant à travailler en ville, où restent concentrés une majorité d'emplois. Il faut toutefois remarquer que les distances parcourues dans les quartiers centraux augmentent également.

Le tableau suivant reprend la liste des 30 communes où l'indice de localisation des déplacements domicile-travail à augmenter le plus et le moins, et la liste des 30 communes où les distances domicile-travail ont augmenté le plus et le moins, à l'échelle de la commune. Il confirme les analyses précédentes en mettant en évidence une série de communes de la province de Luxembourg dans les colonnes marquant les augmentations les plus fortes, et une série de communes du Brabant wallon dans les colonnes relatives aux augmentations les plus faibles.

Tableau 107 : Liste des 30 communes où [A] l'indice de localisation des déplacements domicile-travail a augmenté le plus, [B] il a augmenté le moins, [C] les distances domicile-travail ont augmenté le plus et [D] elle ont augmenté le moins.

Indice de localisation TRAVAIL				Distances parcourues TRAVAIL			
Augmentation les plus fortes		Augmentation les plus faibles		Augmentation les plus fortes		Augmentation les plus faibles	
VAUX-SUR-SURE	5,3	JURBISE	1,4	VAUX-SUR-SURE	8,2	EREZEE	2,2
FAUVILLERS	5,2	GENAPPE	1,4	NEUFCHATEAU	7,7	SAINT-VITH	2,1
VIRTON	5,1	HENSIES	1,4	LIBRAMONT-	7,7	DALHEM	2,1

MANHAY	5,0	MARCHE-EN-	1,4	DAVERDISSE	7,5	FARCIENNES	2,1
NEUFCHATEAU	4,9	BUTGENBACH	1,3	VIRTON	7,5	RAMILLIES	2,0
VIELSALM	4,7	EREZEE	1,3	FAUVILLERS	7,4	BULLINGEN-	1,9
WELLIN	4,7	CELLES	1,3	HASTIERE	7,3	RUMES	1,9
FLORENVILLE	4,7	COURT-SAINT-ET	1,3	TENNEVILLE	7,3	GENAPPE	1,8
HABAY	4,6	QUEVY	1,3	SAINTE-ODE	7,0	KELMIS/LACALAMINE	1,7
BOUILLON	4,6	ENGHIEN	1,3	MANHAY	7,0	VERLAINE	1,7
SAINTE-ODE	4,5	BRAINE-L'ALLEUD	1,3	MEIX-DEVANT-	6,8	CERFONTAINE	1,7
HASTIERE	4,4	DALHEM	1,2	VIELSALM	6,8	SAINT-HUBERT	1,7
DAVERDISSE	4,4	NANDRIN	1,2	BURDINNE	6,6	CELLES	1,6
TENNEVILLE	4,4	GREZ-DOICEAU	1,2	ETALLE	6,5	BRAINE-L'ALLEUD	1,6
ROUVROY	4,3	LINCENT	1,2	HABAY	6,4	LA HULPE	1,5
MEIX-DEVANT-	4,3	LA HULPE	1,0	GOUVY	6,1	FEXHE-LE-HAUT-	1,4
MARTELANGE	4,3	BRUNEHAUT	1,0	ROUVROY	6,0	GREZ-DOICEAU	1,3
ETALLE	4,2	WAVRE	1,0	PALISEUL	6,0	WAVRE	1,3
BASTOGNE	4,2	CHIEVRES	0,9	ARLON	5,8	PERWEZ	1,2
MOMIGNIES	4,2	ATH	0,8	ATTERT	5,8	WATERLOO	1,2
PALISEUL	4,1	OTTIGNIES-LOUV	0,8	WELLIN	5,8	WALHAIN	1,2
MALMEDY	4,1	WATERLOO	0,7	CHINY	5,8	OTTIGNIES-	1,1
OUFFET	4,0	RUMES	0,7	BERLOZ	5,7	RIXENSART	1,0
BEAUMONT	4,0	WALHAIN	0,7	SAINT-LEGER	5,7	CHASTRE	1,0
SIVRY-RANCE	4,0	FEXHE-LE-HAUT-	0,7	BOUILLON	5,7	LINCENT	0,8
LIERNEUX	4,0	CHASTRE	0,6	JEMEPPE-SUR-S	5,6	ENGHIEN	0,8
LA ROCHE-EN-	4,0	RIXENSART	0,5	AUBANGE	5,5	BUTGENBACH	0,7
BURDINNE	4,0	CHAUMONT-GIS	0,2	FLORENVILLE	5,4	CHAUMONT-	0,3
GOUVY	3,9	AMEL/AMBLEVE	-0,1	MARCHIN	5,4	LASNE	0,0
CHINY	3,9	LASNE	-0,1	HERBEUMONT	5,3	AMEL/AMBLEVE	1,2

En ce qui concerne les déplacements domicile-école, la figure précédente et le tableau suivant montrent une augmentation plus limitée, voire une diminution, des distances parcourues dans plusieurs communes.

On remarquera que les 30 communes où les indices de localisation et de distances parcourues diminuent le plus font parties de zones de migrants alternants et de banlieues alors que les 30 communes où les augmentations sont les plus fortes sont situées dans la catégorie « autres » de Van der Haegen et al. [1996] et sont majoritairement situées dans la province du Luxembourg.

Les raisons de cette plus grande tendance à la diminution des distances parcourues et de l'indice de localisation pour les déplacements domicile-école, dans de nombreuses communes devront être déterminées ultérieurement, éventuellement en lien avec le développement de nouvelles structures scolaires dans des communes à caractère périurbain (voir aussi l'influence éventuelle de décrets visant à limiter le choix des établissements scolaires).

Tableau 108 : Liste des 30 communes où [A] l'indice de localisation des déplacements domicile-école a augmenté le plus, [B] il a augmenté le moins, [C] les distances domicile-école ont augmenté le plus et [D] elle ont augmenté le moins.

Indice de localisation ECOLE				Distances parcourues ECOLE			
Augmentation les plus fortes		Augmentation les plus faibles		Augmentation les plus fortes		Augmentation les plus faibles	
FAUVILLERS	2,2	AWANS	-0,7	HASTIERE	3,9	MONTIGNY-LE-	-0,7
BUTGENBACH	1,9	MODAVE	-0,8	PALISEUL	3,8	LA BRUYERE	-0,7
FLORENVILLE	1,9	REMICOURT	-0,8	AUBANGE	3,8	CHIEVRES	-0,8
PALISEUL	1,8	BRAINE-LE-CHA	-0,8	FAUVILLERS	3,5	BRAIVES	-0,8
FLORENNES	1,8	BRUGELETTE	-0,8	FLORENVILLE	3,5	BRAINE-LE-CHA	-0,9
MARTELANGE	1,7	TINLOT	-0,8	BERTRIX	3,4	ORP-JAUCHE	-0,9
AUBANGE	1,6	BEAUVECHAIN	-0,8	BUTGENBACH	3,2	NEUPRE	-1,0
BULLINGEN-	1,6	WAVRE	-0,8	VIELSALM	3,1	ANHEE	-1,0
VIELSALM	1,6	ANHEE	-0,9	VAUX-SUR-SURE	3,1	BERLOZ	-1,1
MANHAY	1,4	HELECINE	-0,9	NEUFCHATEAU	2,9	AWANS	-1,2
OUFFET	1,4	ENGIS	-0,9	LIBRAMONTC	2,9	GERPINNES	-1,2
PHILIPPEVILLE	1,4	LA BRUYERE	-1,0	MONT-DE-	2,9	LASNE	-1,3
LIERNEUX	1,4	ITTRE	-1,0	GEDINNE	2,9	LENS	-1,3
VAUX-SURS	1,3	INCOURT	-1,1	PLOMBIERES	2,8	ENGHIEN	-1,3
SIVRY-RANCE	1,3	NEUPRE	-1,1	LOBBES	2,7	ASSESE	-1,3
BERTRIX	1,3	TELLIN	-1,1	BERTOgne	2,7	GREZ-DOICEAU	-1,4
VIRTON	1,2	GESVES	-1,2	FROIDCHAPELLE	2,6	DONCEEL	-1,4
BOUILLO	1,2	LENS	-1,2	ARLON	2,6	CHASTRE	-1,4
LA ROCHEEN-	1,2	BERLOZ	-1,2	VIRTON	2,6	RIXENSART	-1,5
ROUVROY	1,2	JURBISE	-1,2	LEGLISE	2,5	INCOURT	-1,5
BERTOgne	1,2	ASSESE	-1,5	HABAY	2,5	PERWEZ	-1,6
HOUFFALIZE	1,2	DONCEEL	-1,5	HAMOIS	2,4	WALHAIN	-1,8
HASTIERE	1,2	CHASTRE	-1,5	HOUFFALIZE	2,4	CHAUMONT	-1,9
SAINT-LEGER	1,1	LA HULPE	-1,6	ROCHEFORT	2,4	ITTRE	-2,0
CERFONTAINE	1,1	GREZ-DOICEAU	-1,6	SPA	2,4	BEAUVECHAIN	-2,1
STOUMONT	1,1	RIXENSART	-1,6	MARTELANGE	2,4	TINLOT	-2,3
GEDINNE	1,1	WALHAIN	-1,8	GOUVY	2,4	MONT-SAINT-	-2,3
HABAY	1,1	CHAUMONT-	- 1,8	SIVRY-RANCE	2,3	HELECINE	-2,6
WELLIN	1,1	LASNE	-2,0	SAINT-VITH	2,3	VRESSE-SUR-SEMOIS	-3,5
SAINT-VITH	1,1	MONT-SAINT-G	-2,1	BURG-REULAND	2,3	TELLIN	-4,7

8.6. Les consommations totales par ancienne commune

Les indices de localisation, de parts modales et de distances parcourues présentés et discutés dans les sections précédentes sont relatives à un déplacement simple d'un individu, de façon à mettre en évidence l'impact du territoire sur les consommations énergétiques des déplacements domicile-travail et domicile-école. Il convient maintenant de déterminer les consommations annuelles totales relatives au transport des personnes dans les entités territoriales considérées. Ce traitement sera effectué sur les données de 2001 et de 1991, à l'échelle de l'ancienne commune, pour les déplacements domicile-travail et pour les déplacements domicile-école.

Un premier calcul est réalisé en multipliant le nombre de travailleurs (population active occupée fournie dans les recensements de l'INS) d'une ancienne commune par l'indice de localisation calculé pour cette entité et le nombre de trajets annuels réalisés par ces travailleurs. Nous baserons nos calculs sur l'hypothèse de 2 trajets simples par jour, 5 jours par semaine et 48 semaines de travail par an (soit 240 jours de travail et 480 trajets par an).

Dans le second calcul, nous intégrons, en plus, le temps de travail des individus, pour les déplacements domicile-travail. Nous ne disposons, pour cette donnée que du recensement INS de 2001. L'indice de localisation calculé pour chaque entité territoriale est donc multiplié par le nombre d'individus qui travaillent (données INS) et par un nombre de trajets annuels qui dépend de leur temps de travail. Ce nombre de trajets est déterminé, conformément à la méthode développée dans Marique et al. [2010], selon la clé de répartition rappelée dans le tableau suivant, toujours en considérant 48 semaines de travail par an (exemple : un individu qui travaille à temps plein réalise 10 trajets simples par semaine et 480 trajets simples par an).

Tableau 109 : Nombre de trajets moyens réalisés par semaine en fonction des différentes classes de temps de travail utilisées dans les recensements INS et hypothèses sur le nombre de semaine de travail pour les déplacements domicile-travail et domicile-école

Classe INS	< 10 heures	[10 – 19 heures]	[20 – 29 heures]	[30 – 39 heures]	> 40 heures
Nb de trajets par semaine en moyenne	2	4	7	9	10

Nombre de jours de travail par an :	5 jours * 48 semaines = 240 jours de travail par an
Nombre de jours d'école par an :	5 jours * 36 semaines = 180 jours d'école par an

Pour les déplacements scolaires, nous considérons qu'un écolier se déplace deux fois par jour, 5 jours par semaine, pendant 36 semaines sur l'année. L'indice de localisation calculé pour les déplacements domicile-école d'une ancienne commune est donc multiplié par le nombre d'étudiants de cette entité puis par 2 (trajets simples par jour), par 5 (jours scolaires par semaine) et par 36 (semaines d'école par an) pour donner la consommation d'énergie totale annuelle pour les déplacements domicile-école dans l'ancienne commune considérée.

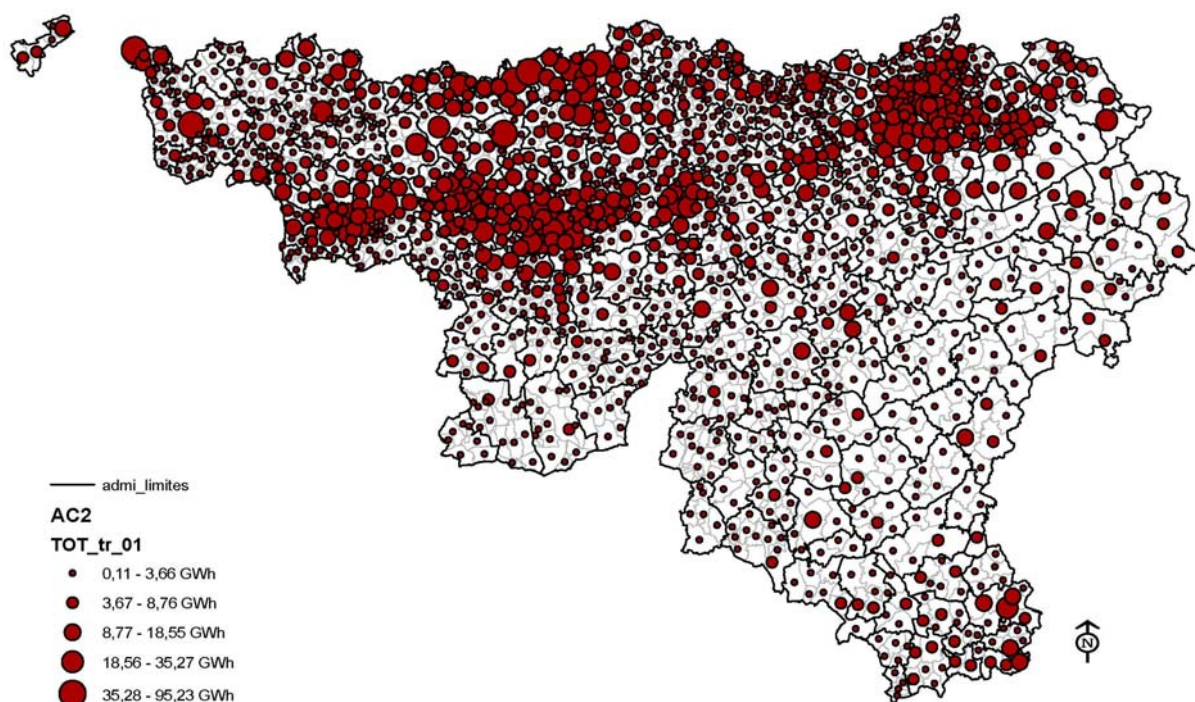


Figure 120 : Consommation d'énergie totale pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de l'ancienne commune, pour les données INS de 2001, le temps de travail des individus n'est pas considéré (tous les travailleurs sont supposés effectuer 480 déplacements simples par an).

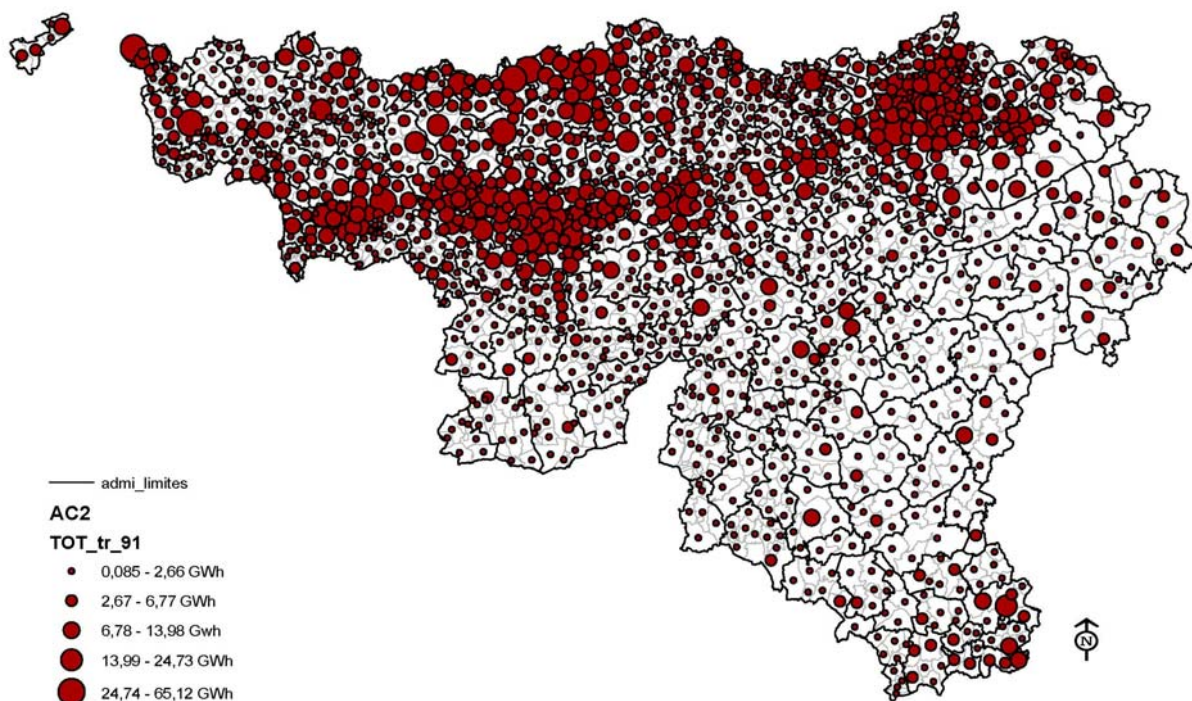


Figure 121 : Consommation d'énergie totale pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de l'ancienne commune, pour les données INS de 1991, le temps de travail des individus n'est pas considéré (tous les travailleurs sont supposés effectuer 480 déplacements simples par an).

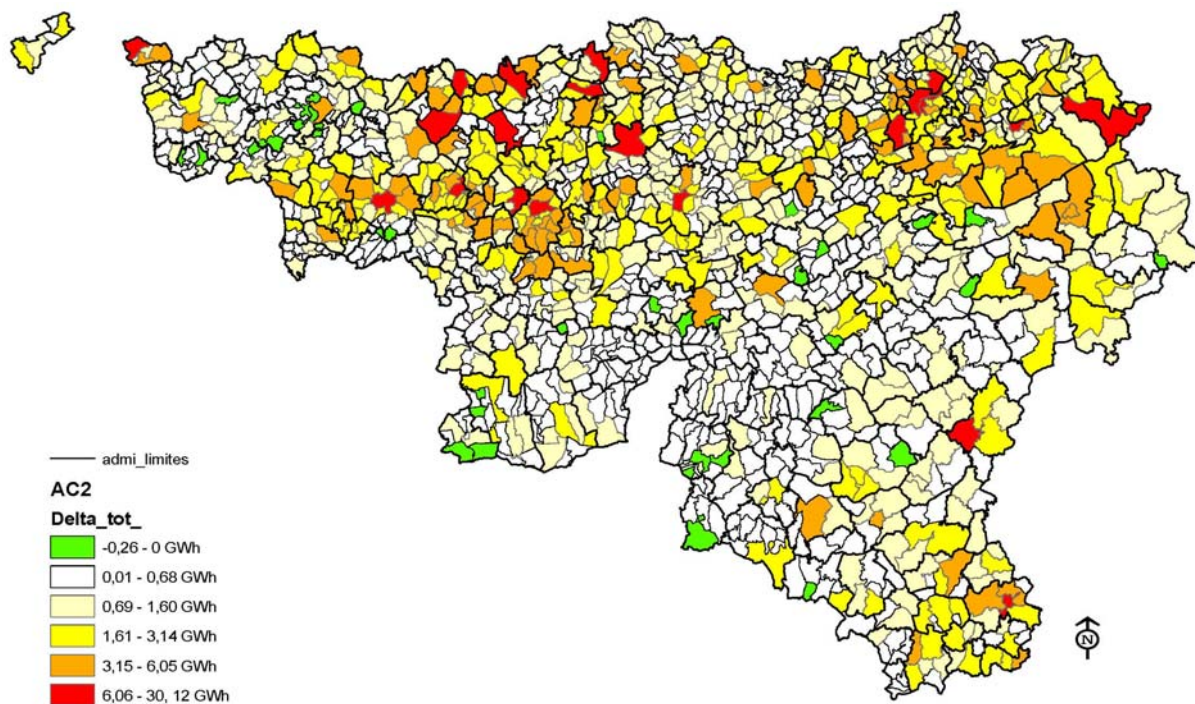


Figure 122 : Comparaison (par soustraction) des consommations totales par ancienne commune, calculées pour 2001 et 1991, sans prendre en compte le temps de travail des actifs.

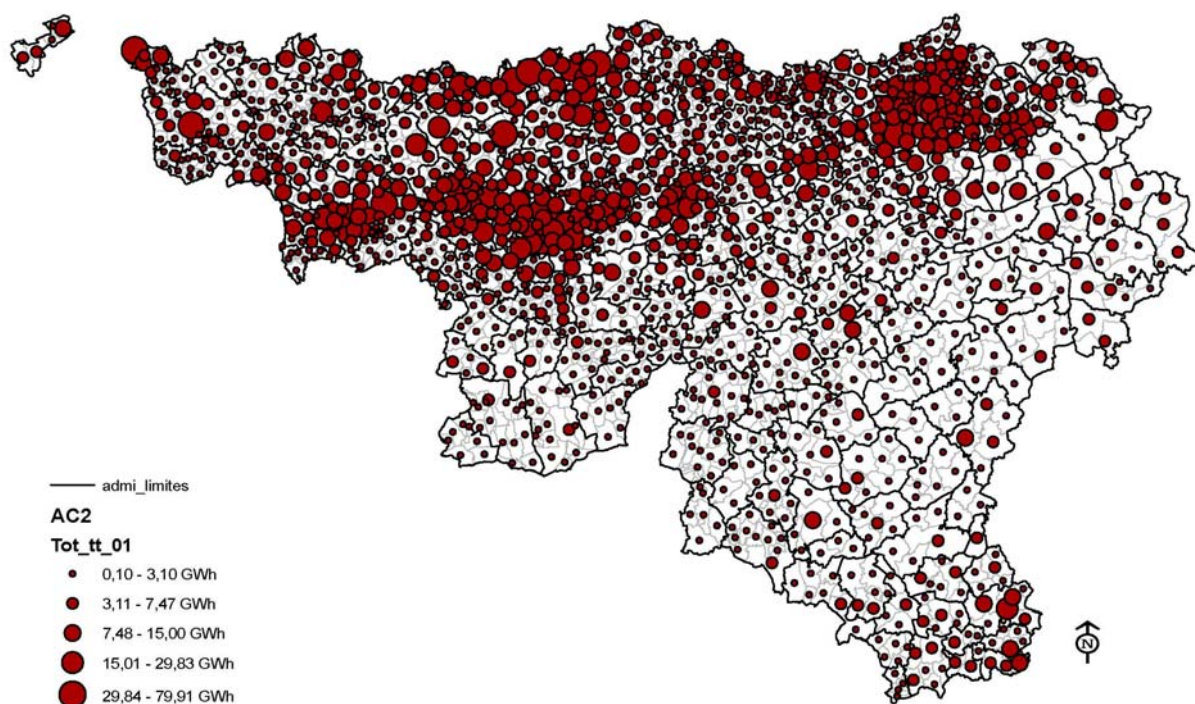


Figure 123 : Consommation d'énergie totale pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de l'ancienne commune, pour les données INS de 2001, le temps de travail des individus EST considéré sur base des données du recensement INS de 2001.

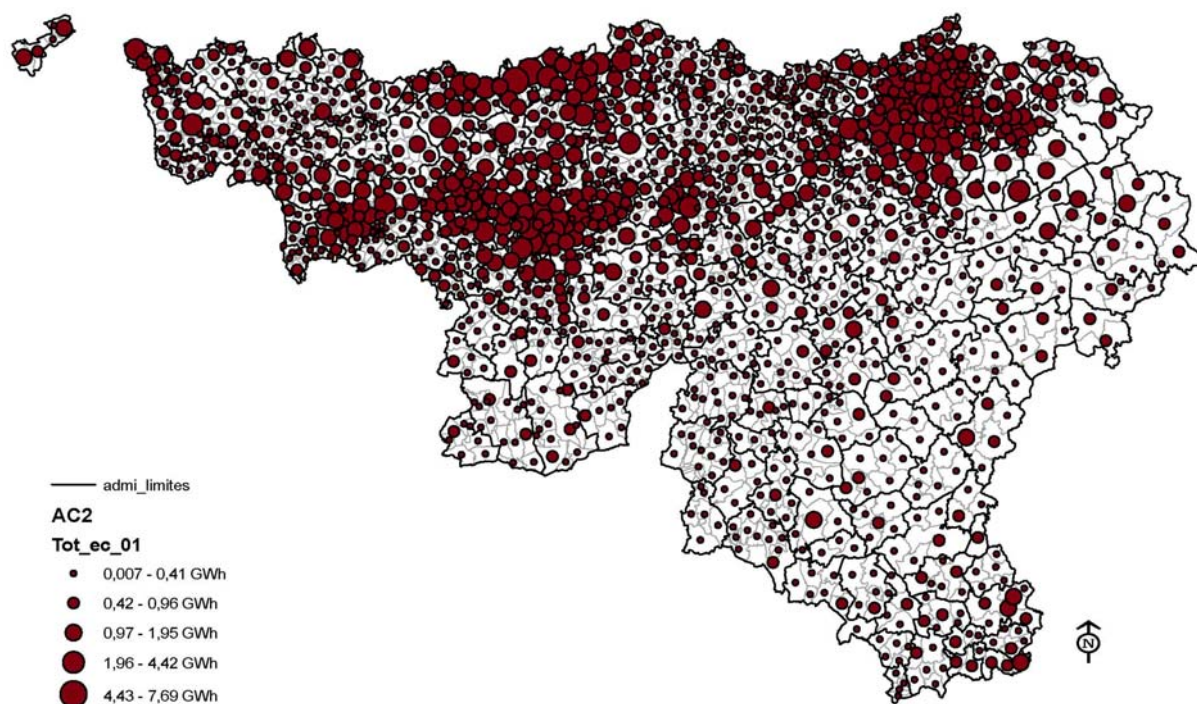


Figure 124 : Consommation d'énergie totale pour les déplacements domicile-école, à l'échelle de l'ancienne commune, pour les données INS de 2001.

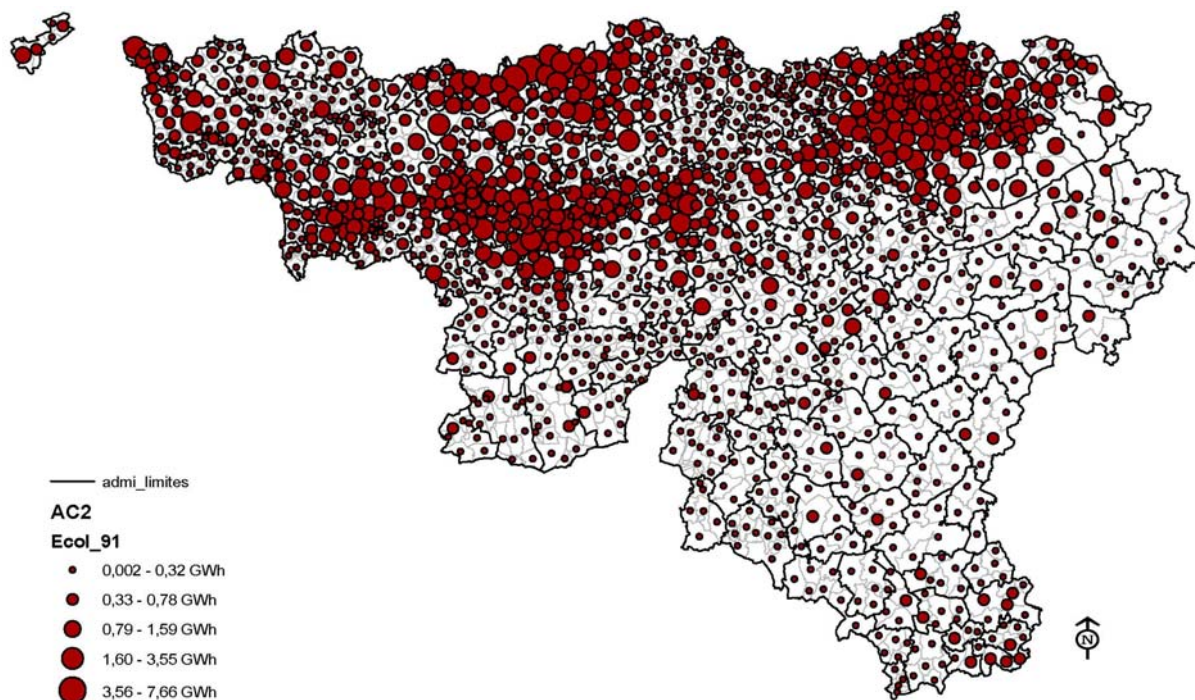


Figure 125 : Consommation d'énergie totale pour les déplacements domicile-école, à l'échelle de l'ancienne commune, pour les données INS de 1991.

Les cartes présentées ci-dessus indiquent un renversement logique par rapport à celles illustrant l'indice de localisation. Les anciennes communes où cet indice est le plus faible sont des communes fortement peuplées. Sur les deux premières cartes relatives aux consommations totales des travailleurs (sans prendre en compte le temps de travail des actifs) montrent clairement que ce sont les communes situées le long de l'ancien sillon industriel qui présentent les consommations annuelles globales les plus élevées (surtout Liège, Charleroi et Mons). On distingue également une série d'anciennes communes où les consommations totales annuelles sont élevées dans la périphérie sud-ouest de Bruxelles et dans les environs d'Arlon. Des pôles locaux se distinguent également (Dinant, Ciney, Ath, Bastogne, Spa, Marche, Rochefort). Si les communes peu denses semblent moins consommatrices d'énergie ici, il convient toutefois de rappeler que ce n'est dû qu'au faible volume de population qu'elles abritent puisque, dans ces zones peu denses périphériques, la consommation d'énergie d'un déplacement y est plus élevée. C'est dans les zones densément peuplées que des mesures et stratégies visant à diminuer les consommations globales d'énergie pour les déplacements domicile-travail pourraient toucher le plus large public. C'est par ailleurs dans ces zones que des stratégies de report modal vers le bus (réseau déjà développé, gros volume de population potentiel) et les modes doux (distances réduites, proximité de centres bien équipés) pourraient être les plus facilement implémentées.

On remarque, comme pour l'indice de localisation des déplacements domicile-travail, une nette augmentation des consommations annuelles entre 1991 et 2001. La carte qui compare, par soustraction, les consommations annuelles de 2001 avec celles de 1991 indique que les anciennes communes où ce gradient est le plus élevé sont essentiellement situées dans les zones déjà fortement consommatrices (sillon Sambre et Meuse, en particulier Liège, Charleroi et Mons, Brabant wallon, Arlon). En 2001, les consommations annuelles totales de la Région wallonne pour les déplacements domicile-travail ont ainsi augmenté de 26,3%. Cette augmentation est due en partie à l'augmentation de l'indice de localisation des déplacements domicile-travail (ce qui signifie qu'un déplacement consomme plus en 2001 qu'en 1991) mais également à l'augmentation des actifs (7,2% de plus).

Les consommations annuelles totales d'énergie ont ensuite été calculées et cartographiées en prenant en compte le temps de travail des individus, pour 2001 (nous ne disposons pas des données relatives au temps de travail des actifs pour 1991). Si la carte présentant ces consommations globales annuelles garde le même aspect, les consommations sont toutefois réduites de façon significative. Si le temps de travail des actifs est intégré à l'analyse, les consommations totales sont réduites de 15,3% par rapport à la première hypothèse où on considère que tous les actifs sont occupés à temps plein. Ceci confirme l'intérêt de prendre en compte ce facteur « temps de travail » dans la méthode d'évaluation énergétique des quartiers périurbains mise en œuvre et appliquées dans le cadre du projet de recherches SAFE.

Les consommations totales relatives aux déplacements domicile-école sont également les plus élevées dans les anciennes communes densément peuplées (particulièrement les régions de Liège, Charleroi et Mons). On distingue aussi des consommations totales élevées dans le Brabant, l'ouest du Hainaut (Mouscron, Tournai, Bernissart) et des pôles secondaires (Dinant, Rochefort, Ciney, Marche, Liernux, Bastogne, Spa, etc.). Ces consommations restent toutefois nettement inférieures à celles calculées pour les déplacements domicile-travail.

Les consommations totales pour la Région wallonne, en 2001, pour les déplacements domicile-travail (en tenant compte du temps de travail des actifs) s'élèvent à 5.762 GWh pour l'année (soit 12 GWh ramené à un trajet simple). Pour les déplacements domicile-école, les consommations annuelles pour la Région s'élèvent à 589 GWh (1,64 GWh ramené à un trajet).

8.7. Synthèse et perspectives

La définition de trois indices (indice de localisation, indice des parts modales des modes motorisés et indice de distance moyenne parcourue) caractérisant les déplacements domicile-travail et domicile-école et leur application généralisée à l'ensemble du territoire de la Région wallonne, selon trois échelles territoriales (la commune, l'ancienne commune et le secteur statistiques) ont permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- Les cartographies présentées à l'échelle de la commune permettent de donner une idée globale de la structure du territoire en lien avec les consommations d'énergie des déplacements considérés. Les cartographies aux échelles de l'ancienne commune et du secteur statistique affine l'analyse et laissent apparaître des pôles secondaires (distinction entre quartiers centraux et périphériques ou entre noyaux villageois et zones périurbaines d'une même commune) ;
- Les distances parcourues ont un impact important sur les indices de localisation et les consommations totales. Les distances parcourues pour les déplacements domicile-travail augmentent de façon significative avec l'éloignement d'un centre-ville ;
- La voiture est le mode de transport le plus utilisé, largement devant le bus et le train. Liège se distingue par une part modale des transports en commun élevée ;
- Le « pouvoir d'attraction » de villes extérieures à la Région wallonne (Bruxelles et Luxembourg-Ville principalement) se traduit clairement sur les cartes présentées par une augmentation des consommations dans les zones sous influence (effet auréolaire). A l'échelle régionale, on remarque ce même effet auréolaire autour de plusieurs villes, dont Liège et Charleroi mais aussi de plus petits pôles (mis en évidence notamment par la confrontation avec les aires urbaines de Van der Haegen et al [1996]) ;
- Les infrastructures (notamment le réseau ferroviaire) et la structure héritée (quartiers historiques, etc.) semblent avoir un effet important sur les consommations, les distances parcourues et sur le choix du mode de transport utilisé ;
- Les déplacements domicile-école sont moins consommateurs que les déplacements domicile-travail, notamment en raison de distances parcourues plus faibles (plus grande répartition des écoles sur le territoire que des lieux de travail) et une plus grande part modale des modes doux et des transports en commun ;
- Les comparaisons 2001 /1991 mettent en évidence une augmentation et une diffusion (liée à la périurbanisation) des consommations relatives aux déplacements considérés et des distances parcourues. L'usage de la voiture augmente dans une grande partie du territoire, l'usage du train augmente également, le bus est en recul ;
- Certaines communes situées dans le Brabant se distinguent toutefois par des consommations moindres en 2001 qu'en 1991, en raison notamment du développement de zones d'emplois qui rapprochent donc les individus de leurs lieux de travail (ils peuvent trouver un emploi « local » au lieu de se rendre à Bruxelles). Cette constatation

plaide pour une meilleure mixité des fonctions comme stratégie possible de diminution des consommations des déplacements domicile-travail.

La définition et la cartographie des consommations totales, pour les déplacements domicile-travail et pour les déplacements domicile-école, à l'échelle de l'ancienne commune ont par ailleurs menés aux considérations suivantes :

- Les zones où se concentrent les consommations totales les plus élevées, tant pour les déplacements domicile-travail que domicile-école, sont les anciennes communes les plus densément peuplées de la Région, en particulier les régions de Liège, Charleroi et Mons et le Brabant wallon. Des pôles secondaires se distinguent également : Ciney, Mouscron, Dinant, Rochefort, Spa, Marche, etc. ;
- C'est dans ces zones que les mesures et stratégies visant à diminuer les consommations globales pourraient toucher le plus large public, notamment en termes de report modal sur le bus et sur les modes doux ;
- Les consommations totales sont faibles dans les anciennes communes peu denses mais la consommation relative à un déplacement (indice de localisation) y est plus élevée ;
- Les consommations des déplacements domicile-école restent nettement inférieures aux consommations des déplacements domicile-travail ;
- Prendre en compte le temps de travail effectif des actifs est indispensable (différence d'environ 15% avec l'hypothèse où le temps de travail n'est pas pris en compte).

Dans la suite de la recherche, des études de corrélation seront menées entre les différents paramètres soumis à l'étude de façon à mettre en évidence les plus influents. Il conviendrait aussi de confronter les résultats actuels à des paramètres d'ordre socio-économique (taille des ménages, revenus, etc.) qui semblent également influencer sur les consommations énergétiques relatives aux déplacements des personnes. La généralisation de l'approche « transport » développée dans le premier rapport scientifique et technique se prolongera par l'informatisation et l'automatisation des méthodes développées pour prendre en compte les déplacements domicile-gare et les déplacements liés aux motifs des loisirs et des achats.

Enfin, en termes de deliverable attendu, les développements et calculs réalisés jusqu'ici et ceux à venir feront partie intégrante de l'outil final à fournir dans le cadre du projet de recherches SAFE, sous un onglet « déplacement et transport ». L'objectif principal est de permettre à un utilisateur de comparer différentes localisations résidentielles du point de vue des consommations énergétiques estimées des déplacements domicile-travail et domicile-école. Le second objectif est de sensibiliser, via les cartes présentées dans ce chapitre, le grand public et les acteurs du territoire à l'impact des localisations résidentielles sur les consommations d'énergie globale (centre-ville vs. quartiers périurbains, par exemple). L'interface graphique sera soignée de façon à atteindre ces objectifs.

9. L'esquisse d'une définition du périurbain

9.1. Introduction

L'objet de ce chapitre est de délimiter le territoire périurbain wallon, de façon à permettre ultérieurement la généralisation de l'approche « forme urbaine » développée et testée sur 4 quartiers-types dans Marique et al. [2010] et dans le présent rapport. Il n'existe en effet, ni en Région wallonne, ni plus largement dans la littérature internationale, de définition communément acceptée du périurbain même si les aires urbaines ou autres classifications territoriales dérivées de Van der Haegen et al. [1996] sont souvent utilisées dans les études statistiques ou autres traitant de la Région wallonne.

La confrontation des trois indices définis et cartographiés dans le chapitre précédent avec les aires urbaines de Van der Haegen et al. [1996] montrent toutefois que les approches à caractère « administratif », « démographique » ou « socio-économique » des limites d'un territoire n'est pas forcément adaptée à notre recherche. Même si on notait une augmentation des consommations d'énergie des déplacements des personnes et de l'indice de localisation des agglomérations morphologiques vers les zones périphériques, la classe « autre » couvre des réalités diverses (zones périurbaines, rurales, petites villes, villes, etc.).

Les cartographies présentées à l'échelle fine du secteur statistique ont de plus mis en évidence, toujours en ce qui concerne le transport des personnes, des disparités entre quartiers d'une même ville (Plateau d'Erpent vs. centre-ville de Namur, par exemple), entre zone centrale et périphérique d'une même commune, etc. et remettent donc en question la définition du territoire périurbain sur base de limites administratives communales. En ce qui concerne le bâtiment et la forme urbaine également, force est de constater que les limites communales englobent des quartiers de types très divers, comme illustré pour les communes de Liège et Houffalize sur les figures suivantes.



Figure 126 : Différences morphologiques entre un quartier central (Saint-Léonard) et un quartier périphérique (Rocourt) de la commune de Liège



Figure 127 : Différences morphologiques entre le noyau central d'houffalize et un développement plus récent, en ruban, situé dans la même commune.

9.2. Les bases de la définition

Une définition basée sur des critères « morphologiques » des quartiers périurbains semble donc plus adaptée à l'objet de notre recherche. Il s'agira ainsi de délimiter le territoire périurbain, en faisant abstraction de toute frontière administrative, pour appréhender ce territoire dans sa dimension morphologique. Parmi la pléthore des définitions du périurbain qui existent dans la littérature internationale, trois caractéristiques reviennent régulièrement : (1) la faible densité, (2) la monofonctionnalité et (3) la discontinuité spatiale des quartiers périurbains.

Ces trois indicateurs vont être appliqués aux secteurs statistiques de la Région wallonne de façon à en extraire ceux qui seront qualifiés, selon notre définition, de « périurbain ». Si le secteur statistique reste une limite administrative, comme l'ancienne commune ou la commune, il a toutefois l'avantage d'être de superficie suffisamment restreinte que pour être considéré comme homogène. Pour rappel la Région wallonne est divisée, depuis 1970, en 9.730 secteurs statistiques, définis comme la plus petite unité territoriale pour laquelle des informations statistiques existent. Cette subdivision de la commune est établie sur base de similarités socio-économique et architecturales [Brulard et Van der Haeghen, 1972].

Le premier indicateur appliqué au secteur statistique est la densité. La densité nette de logements de chaque secteur statistique de la Région wallonne a été calculée. La répartition des secteurs par densité s'exprime sous forme d'une courbe gaussienne, dont il faut éliminer les zones denses des centres-villes et noyaux ruraux et les zones peu denses à caractère plutôt rural. Sur base de la gaussienne, nous posons l'hypothèse que notre zone d'étude s'étend entre les premier et troisième quartiles, ce qui signifie que les quartiers périurbains tels qu'ainsi définis présentent une densité comprise entre 5 à 12 logements par hectare.

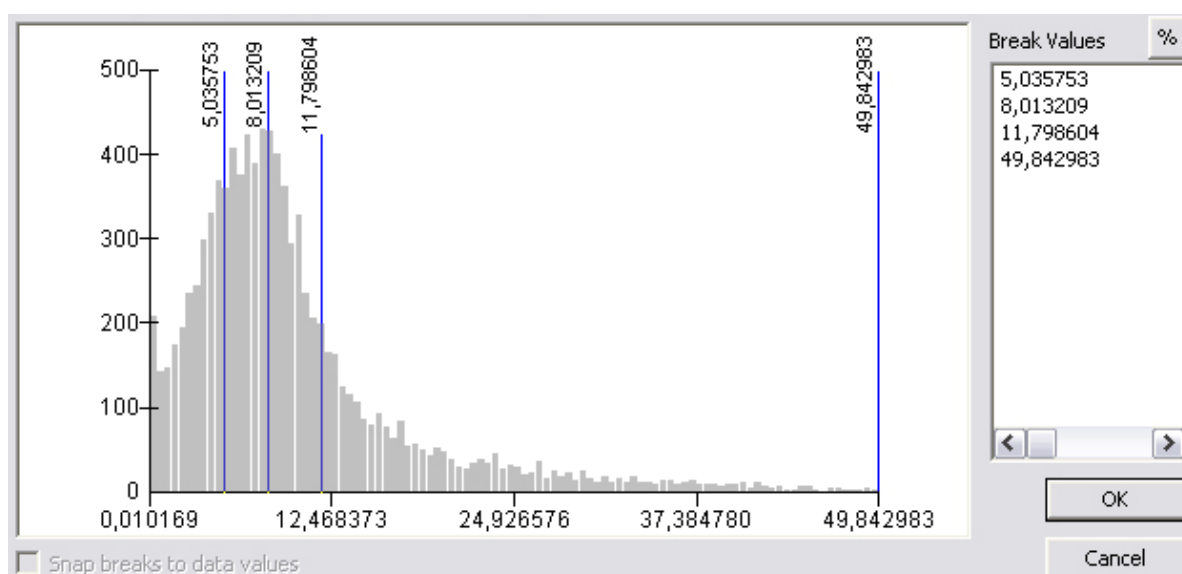


Figure 128 : Répartition des secteurs statistiques selon la densité de logements (quartiles)

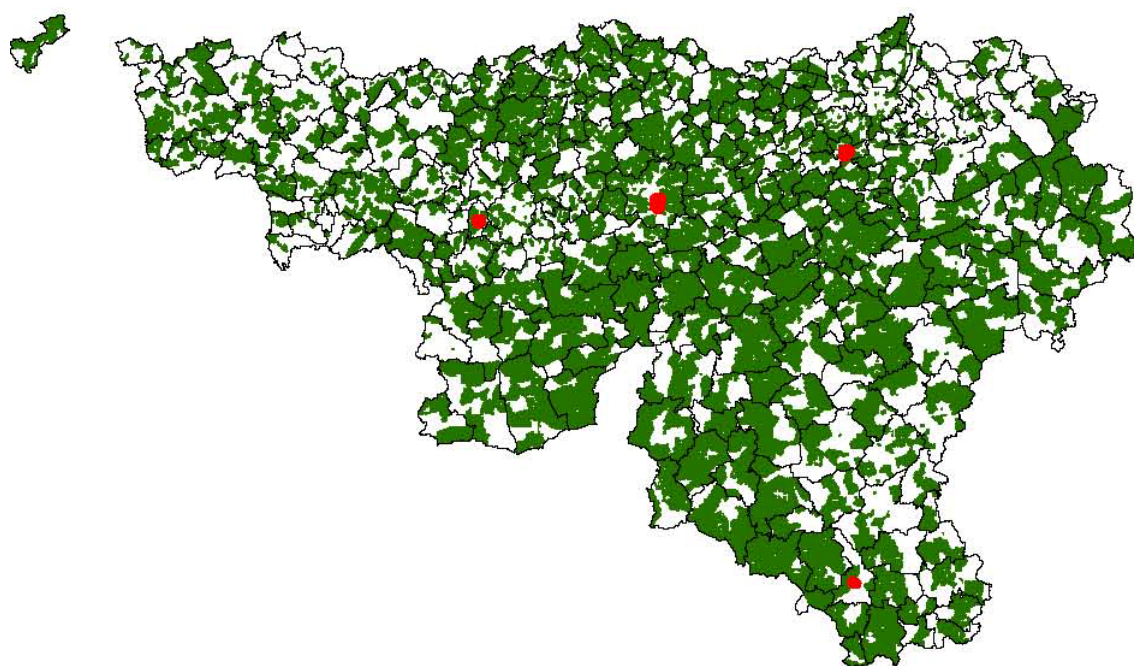


Figure 129 : Secteurs statistiques dont la densité est inférieure à 5 logements par hectare. (Les points rouges localisent les quatre quartiers-types de la recherche SAFE : le quartier de type « rurban » de Tintigny, le quartier de type « semi-mitoyen » de Fontaine-L-Evêque, le quartier de type « nappe » de Jambes et le quartier de type « mixte » de Rotheux.

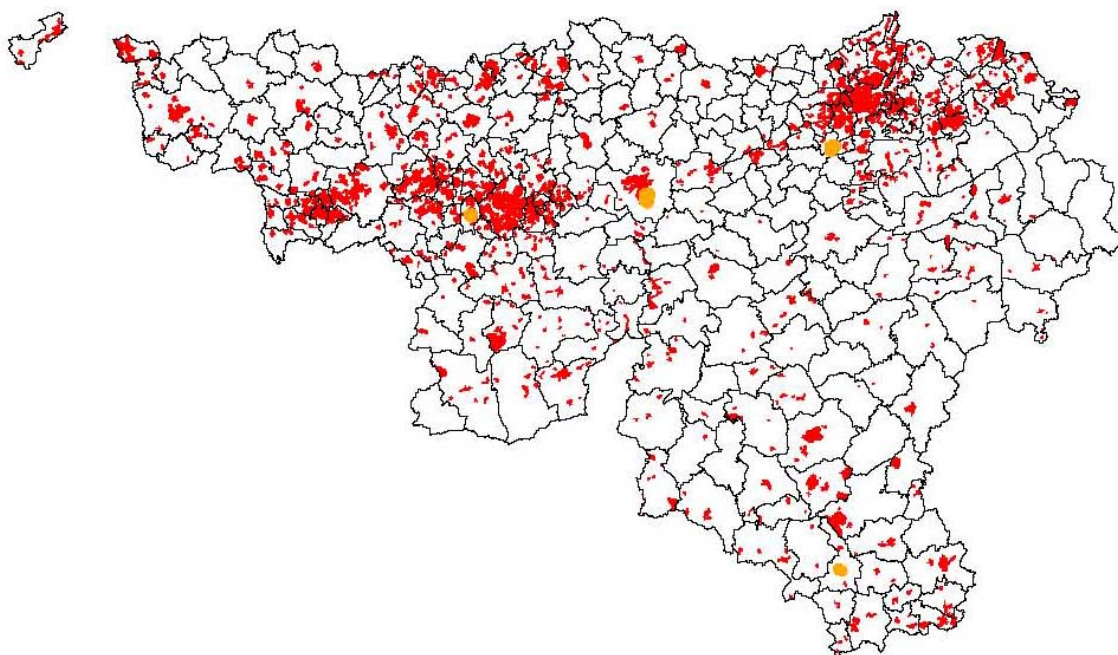


Figure 130 : Secteurs statistiques dont la densité est supérieure à 12 logements par hectare (Les points orange localisent les 4 quartiers-types de la recherche SAFE).

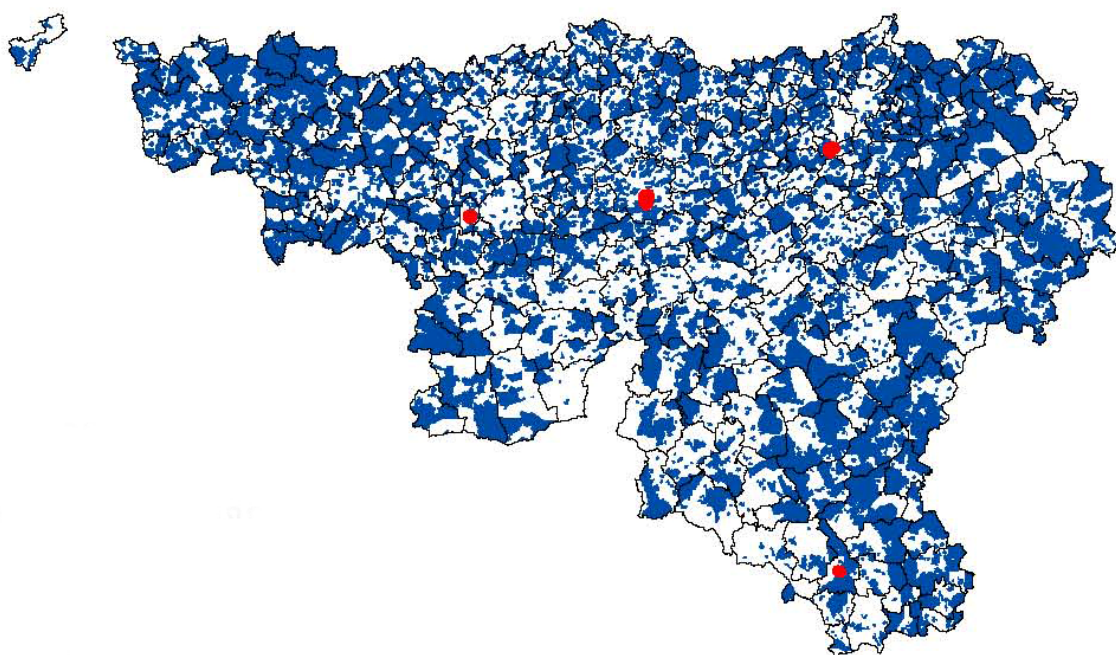


Figure 131 : Secteurs statistiques dont la densité est comprise entre 5 et 12 logements par hectare (Les points rouges localisent les 4 quartiers-types de la recherche).

Les figures précédentes représentent la classification des secteurs statistiques de la Région wallonne selon les classes de densité définies. On retrouve, sur la première figure (en vert, les secteurs statistiques dont la densité est inférieure à 5 logements par hectare) de nombreuses zones non bâties de la Province de Luxembourg. Les villes et noyaux ruraux apparaissent clairement sur la deuxième figure (en rouge, les secteurs statistiques dont la densité est

supérieure à 12 logements par hectare). La troisième figure représente donc le territoire périurbain tel que défini ci-dessus (en bleu, les secteurs statistiques dont la densité est comprise entre 5 et 12 logements par hectare). Trois des 4 quartiers types de la recherche (quartier de type « ruban » de Tintigny, quartier de type « nappe » de Jambes et quartier de type « mixte » de Rotheux, en orange/rouge sur les figures précédentes) sont effectivement compris dans cette définition du périurbain. Le dernier quartier (type « semi-mitoyen » de Fontaine-L'Evêque se situe dans la classe de densité « supérieur à 12 logements par hectare » mais est bordé de quartiers du même type (« semi-mitoyen ») inclus dans la classe de densité « de 5 à 12 logements par hectare ». Un calibrage sera effectué ultérieurement par tirage au sort pour identifier les quartiers représentatifs de cette classe de densité. Remarquons enfin que le critère « mono-fonctionnalité » est intégré dans l'analyse précédente car nous avons basé notre définition sur le nombre de logement (fonction résidentielle). Le critère de « discontinuité » spatiale étant intrinsèquement lié à celui de la densité, il ne fait pas l'objet d'un filtre supplémentaire.

Nous avons ensuite cartographié le nombre de logements présents dans chacun des secteurs statistiques considérés comme « périurbain », à l'échelle du secteur statistique, puis à l'échelle de la commune, de façon à apporter une information supplémentaire à la carte précédente où la superficie des secteurs statistiques est sur-représentée. On remarque sur les figures suivantes que les logements dits « périurbains » se concentrent surtout dans le Brabant wallon alors que dans la Province du Luxembourg, les secteurs statistiques sont de grande superficie mais accueillent un nombre plus réduit de logements. On voit aussi que des communes denses, comme Namur par exemple, qui était intégralement intégrée dans les agglomérations de Van der Haegen et al. [1996] présentent un nombre important de secteurs dont la densité est comprise entre 5 et 12 logements à l'hectare.

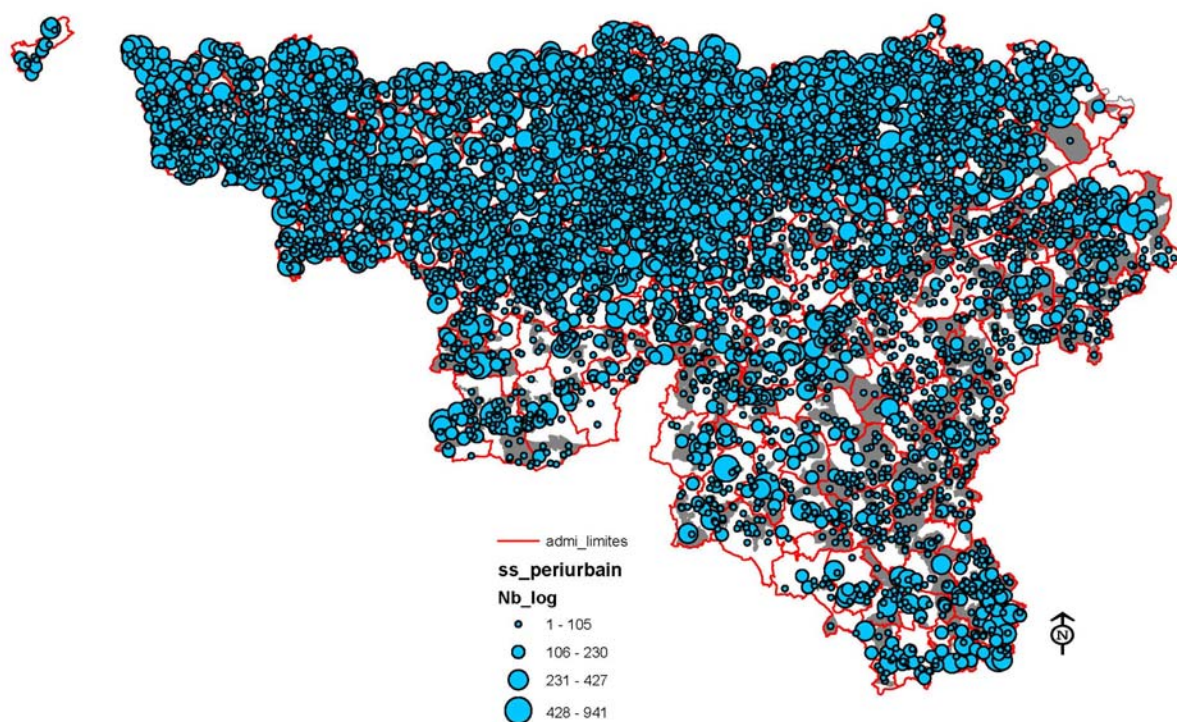


Figure 132 : Nombre de logements présents dans chacun des secteurs statistiques « périurbains »

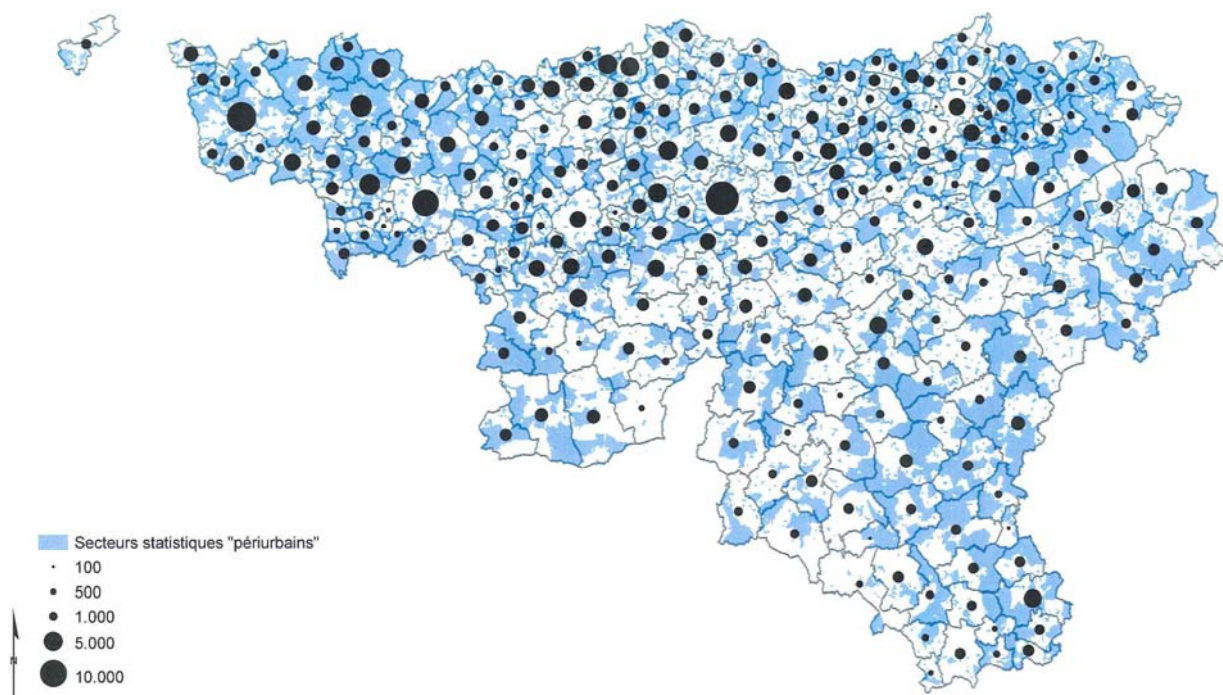


Figure 133 : Nombre de logements présents dans des secteurs statistiques « périurbains » à l'échelle de la commune

9.3. La confrontation avec les indices « transport »

Les trois indices (de localisation, de parts modales des modes de transport motorisés, des distances parcourues) définis et cartographiés dans le chapitre précédent ont été recalculés pour les secteurs statistiques compris dans les trois classes de densité utilisées dans notre définition du périurbain (sur base des données INS de 2001).

Tableau 110 : Calcul des indices de localisation, de parts modales des distances parcourues et de distances parcourues moyens pour les secteurs statistiques par classe de densité, déplacements domicile-travail, données INS de 2001

Densité [log/ha]	IPE [kWh/p.an]	CMS_A [%]	CMS_B [%]	CMS_T [%]	Dist [km]
< 5	13,7	86,6%	1,5%	11,9%	26,4
[5 – 12[	13,6	85,0%	1,6%	13,4%	26,5
> 12	10,7	79,2%	3,9%	16,9%	21,7

[5 – 8[	14,3	86,1%	1,4%	12,5%	27,5
[8 – 12[	13,3	84,4%	1,8%	13,8%	26,0

C'est dans les zones les plus denses que les performances énergétiques des déplacements domicile-travail et la part modale des transports en commun sont les meilleurs. Contrairement aux calculs réalisés sur base des aires urbaines de Van der Haegen et al. [1996], les zones denses utilisées ici comprennent non seulement les agglomérations mais également les noyaux villageois. Les valeurs calculées pour cette classe de densité sont nettement meilleures que celles calculées pour les classes « moins de 5 logements par hectare » et « de 5 à 12 logements par hectare » qui sont par ailleurs très proches.

Une subdivision de la classe « de 5 à 12 logements par hectare » en deux, selon la valeur médiane définie lors de la répartition des secteurs statistiques par densité (8 logements par hectare) met en évidence un meilleur comportement dans la classe « de 8 à 12 logements par hectare » par rapport à la classe « de 5 à 8 logements par hectare ». Dans cette dernière, les déplacements domicile-travail sont légèrement plus consommateurs que dans la classe la moins dense. Les distances parcourues y sont supérieures mais l'usage du train semble légèrement plus répandu.

En conclusion, les valeurs moyennes des différents indices sont significativement différentes entre la classe « de 5 à 12 logements par hectare » et la classe « plus de 12 logements par hectare » alors qu'il est difficile de trouver une limite claire inférieure, en ce qui concerne les consommations énergétiques liées aux déplacements domicile-travail. La validation ultérieure des limites de ces classes, via la morphologie des quartiers (tirage aléatoire d'un échantillon de quartiers dans chaque classe et attribution d'un type) permettra éventuellement d'affiner les limites proposées ici.

9.4. La confrontation avec les données « population »

L'évolution de la population constitue également un indicateur du caractère « périurbain » des quartiers, puisqu'il est souvent admis que le phénomène de l'étalement urbain se caractérise, en Région wallonne, par une fuite des ménages des villes vers les périphéries. Nous proposons, pour conclure ce rapport, une analyse rapide des données de population. L'évolution de la population est confrontée aux classes de densité déterminées dans ce chapitre de façon à vérifier que la classe qualifiée de « périurbain » relève bien de cette dynamique de croissance de la population. Les cartes qui suivent présentent l'évolution de population, par secteurs statistiques, entre 1991 et 1981, entre 2001 et 1991 et entre 2001 et 1981. L'analyse des données de population montre effectivement une tendance à l'augmentation de la densité de population dans les secteurs qualifiés de périurbain dans notre définition morphologique (même si cette tendance ne peut être généralisée à l'ensemble des secteurs périurbains) alors que les centres-villes sont plutôt caractérisés par une stagnation ou une diminution de population même si certains secteurs statistiques centraux se repeuplent également.

Des analyses plus détaillées ne seront pas réalisées, car elles sortent du cadre actuel de la recherche.

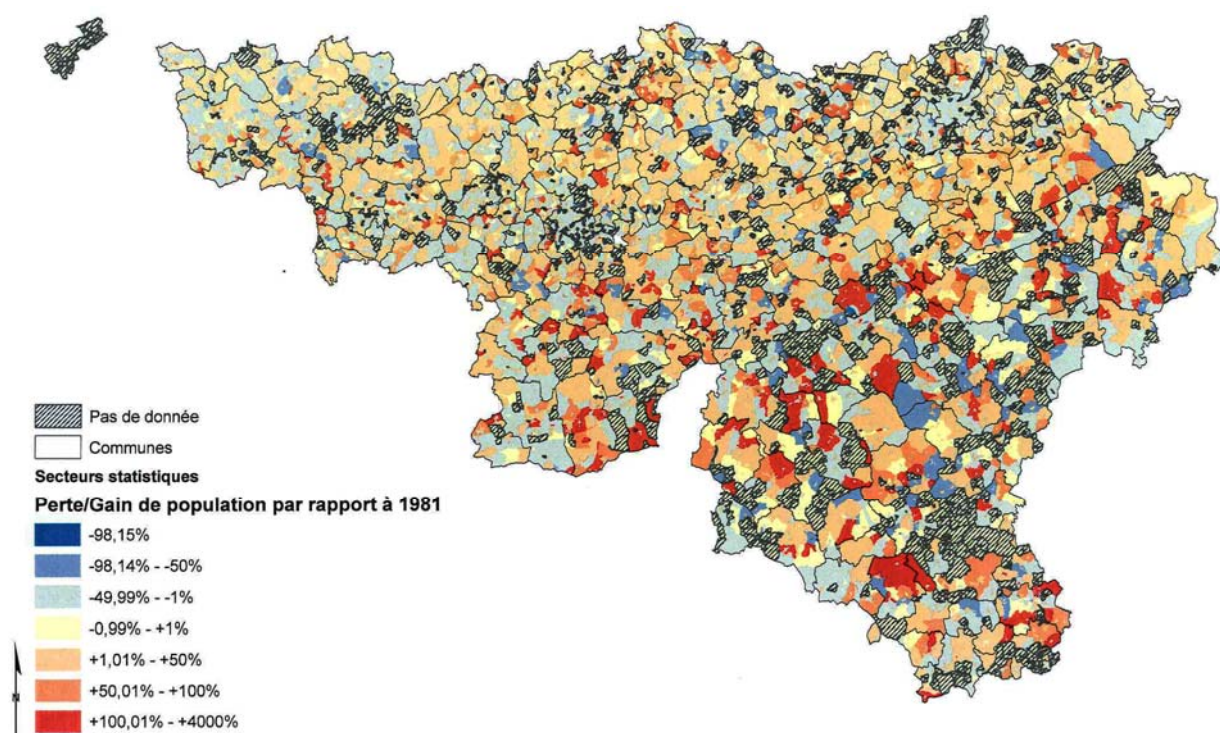


Figure 134 : Evolution de la population, par secteur statistique, entre 1981 et 1991

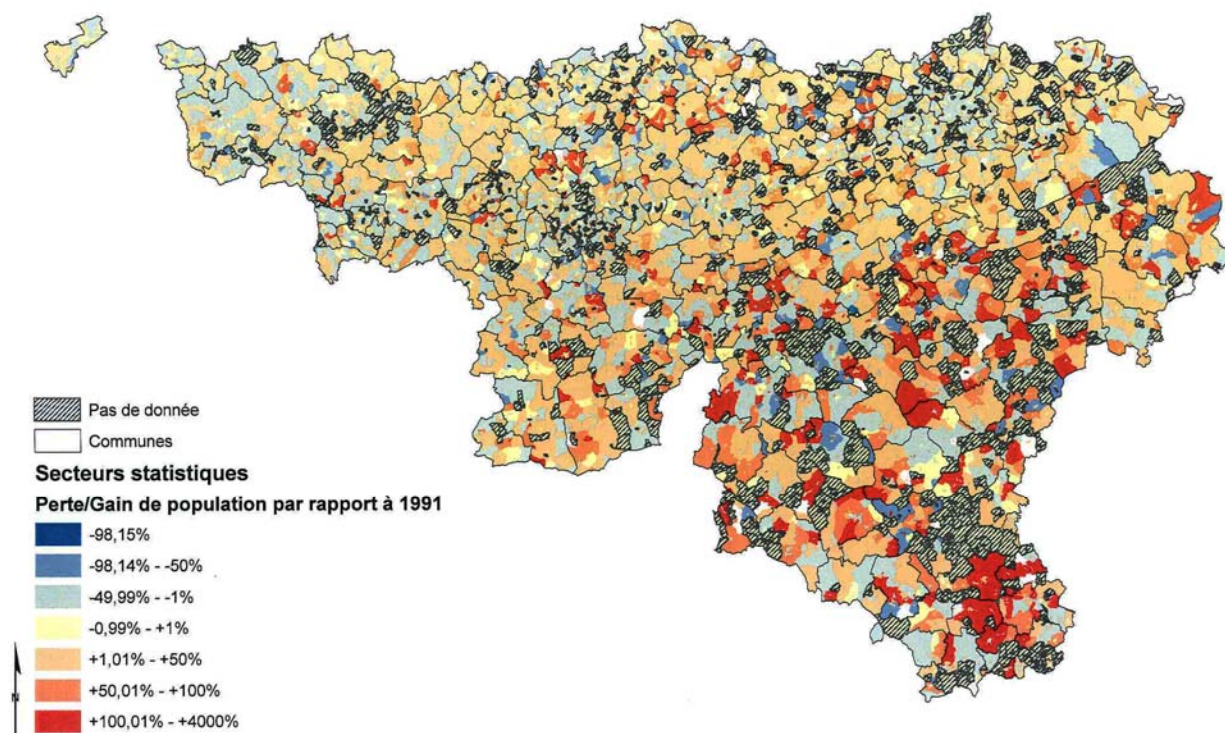


Figure 135 : Evolution de la population, par secteur stastique, entre 1991 et 2001

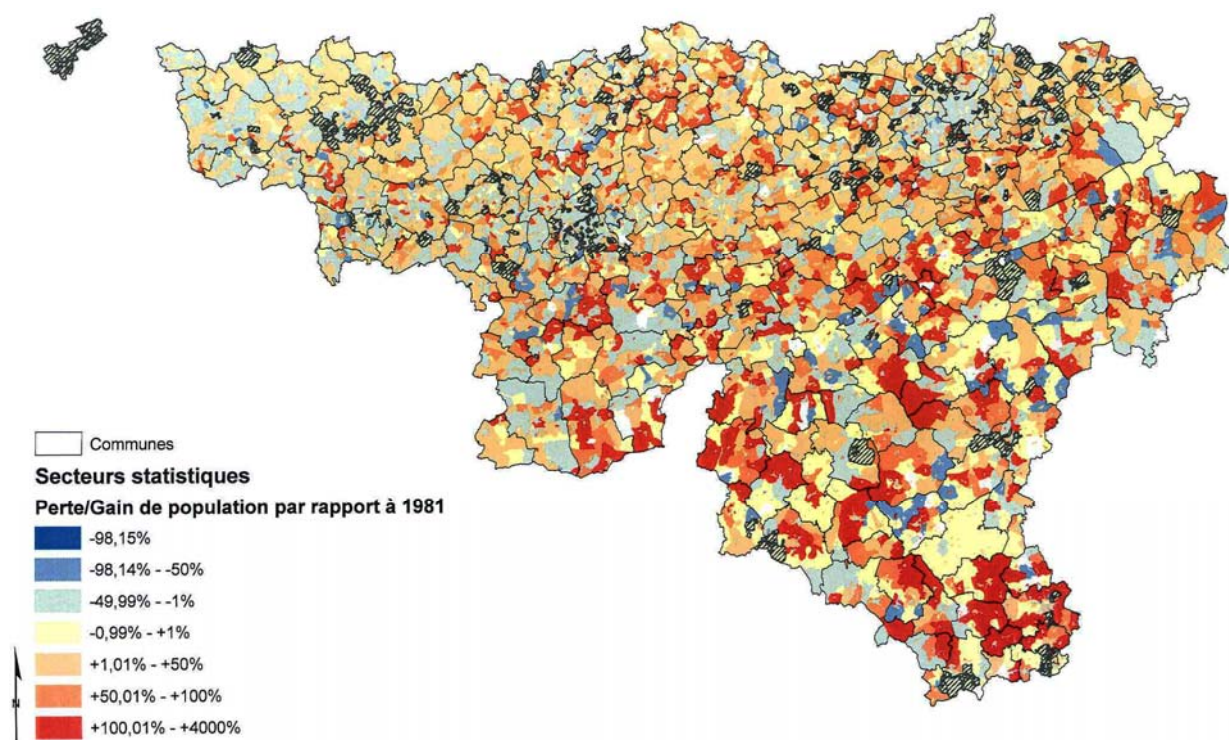


Figure 136 : Evolution de la population, par secteur statistique, entre 1981 et 2001

10. Les conclusions et perspectives

Ce second rapport scientifique et technique clôture la phase III de la recherche SAFE. Cette phase portait sur la modélisation énergétique des quatre quartiers-types sur base de variations paramétrées, de façon à déterminer et hiérarchiser les paramètres les plus influents en vue d'améliorer l'efficacité énergétique globale des tissus périurbains. De nombreuses variations paramétrées ont ainsi été réalisées avec succès dans de nombreux domaines:

- Variations paramétrées au niveau des logiciels et méthodes : tests de différents logiciels, modélisation mono / multi zones ;
- Variations paramétrées au niveau du bâtiment : l'isolation des parois (7 niveaux d'isolation pris en compte), le climat, les consignes de température, différents modes de vie des occupants (avec conséquences de la performance globale du bâtiment sur son cycle de vie), l'influence des gains internes et des gains solaires, différents types de ventilation, etc. ;
- Variations paramétrées au niveau de la forme urbaine : l'orientation du quartier, la continuité du bâti, l'âge des constructions et leur influence combinée ;
- Variations paramétrées au niveau du transport : la localisation, les distances parcourues, les performances des véhicules, le télé-travail, le report modal sur les transports en commun et sur les modes doux;

En complément à cette approche par variations paramétrées, nous avons également travaillé sur les éléments suivants :

- La rédaction d'un état de l'art sur la rénovation des bâtiments périurbains ;
- La généralisation de l'approche « transport » à tout le territoire wallon via la cartographie de trois indices pour les déplacements domicile-travail et domicile-école, à l'échelle de la commune, de l'ancienne commune et du secteur statistique et le calcul des émissions globales par anciennes communes ;
- La définition morphologique du territoire périurbain wallon.

Ces variations paramétrées et compléments ont permis de synthétiser et hiérarchiser les paramètres et stratégies les plus influentes en vue de diminuer les consommations énergétiques globales des quartiers. Les résultats obtenus sont exploitables et intéressants. Ils confirment aussi l'intérêt et la robustesse de la méthode d'évaluation énergétique développée lors de la phase II, tout en fournissant des résultats, notamment graphiques, directement exploitables dans l'outil final à fournir. Nous souhaitons ici particulièrement mettre en évidence les résultats suivants, qui orienteront la suite du travail :

- L'isolation est le critère le plus important pour diminuer les consommations globales des quartiers étudiés, et ce d'autant plus que le bâti existant est ancien et peu isolé et que les quartiers périurbains offrent souvent un grand potentiel d'isolation par l'extérieur, technique la plus recommandée en rénovation;
- Le comportement des habitants joue un rôle important sur ces consommations, tant en

ce qui concerne le bâtiment que le transport ;

- En termes de transport, favoriser la diminution des distances parcourues notamment via les indices de densité et de mixité fonctionnelle est une stratégie plus efficace que le report modal ;
- La structure du territoire a un impact important sur les déplacements des personnes et les consommations énergétiques qui en découlent.

La prochaine phase de travail est dédiée aux modélisations énergétiques de différents scénarios de renouvellement périurbain appliqués aux quartiers-types de la recherche. Différents scénarios de renouvellement seront développés pour les quatre quartiers-types de la recherche, sur base des résultats et acquis présentés dans ce rapport et dans le précédent. Ces scénarios couvriront notamment :

- la rénovation des bâtiments et des quartiers ;
- la démolition / reconstruction éventuelle des quartiers ou de certains bâtiments ;
- la densification du tissu bâti ;
- la mixité fonctionnelle, etc.

Il s'agira ensuite d'évaluer ces différents scénarios, du point de vue de leurs consommations énergétiques grâce aux modèles et méthodes développés dans les phases précédentes de la recherche. Les caractéristiques de l'outil final seront enfin précisées et affinées. Le deliverable final sera présenté à la fin de la recherche.

Remerciements

L'équipe de recherches du LEMA remercie Cyril Crouzet, étudiant de l'EIVP de Paris, pour le travail réalisé sur le projet SAFE, dans le cadre d'un stage de 12 semaines au LEMA (juin – août 2010) et Véronique Wallemacq, géographe, pour sa participation au travail sur la hiérarchie urbaine et la définition cartographique du territoire périurbain, en septembre 2010.

L'équipe de recherches Architecture et Climat, de l'Université Catholique de Louvain remercie Catherine Massart, Sophie Trachte et Elisabeth Gratia de l'équipe de recherche Architecture et Climat pour leurs conseils avisés ainsi que José Flémal pour les nombreux dessins et plans.

Bibliographie [Phase III]

ADEME [2007]. Guide des facteurs d'émissions. Version 5.0. Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées.

ASHRAE [2009]. IWECC Weather Files (International Weather for Energy Calculations) from ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, USA, 2009

Baltus C. et al. [2004]. Guide pratique pour les installateurs de techniques spéciales (électriciens, chauffagistes, sanitaristes), La ventilation mécanique des habitations, Ministère de la Région wallonne, C. Baltus et J.-M. Guillemeau, Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'Energie, Editeur responsable : E. Devos, Bruxelles, 2004.

Berger M. [2004]. Les périurbains de Paris. De la ville dense à la métropole éclatée ? Espaces & Milieux, CNRS Editions, 317p.p

Boussauw K., Witlox F. [2009]. Introducing a commute-energy performance index for Flanders. Transportation Research Part A 43 (2009), 580-591.

Branders A. [2009]. Fiches réalisée dans le cadre du projet LEHR - Low Energy Housing Retrofit, Branders A., Architecture et Climat, Université catholique de Louvain, financé par la Politique Scientifique Fédérale, dans le cadre du « Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique », www.lehr.be, 2009.

Breheny M. [1995]. The compact city and the transport energy consumption. Transactions of the institute of British Geographers, New Series, Vol. 20, n° 1, pp. 81-101.

Brulard T., Van der Haegen H. [1972]. La subdivision des communes belges en secteurs statistiques. Le point de vue des géographes. Acta Geographica Lovaniensia, 10, p. 21-36.

Carlier, Fontaine et Monnier [2007]. Les Echos du logement

Cellule Etat de l'Environnement Wallon [2007]. Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. MRW-DGRNE, Namur, 736p.

CEM [2002]. La cémathèque. Mobilité, consommation et pollution de l'air : quels enjeux pour demain ? Réseaux des conseillers en mobilité.

CERTU [2000]. La forme des villes. Caractériser l'étalement urbain et réfléchir à de nouvelles modalités d'actions. Séminaire de prospective urbaine organisé par le Certu.

Collectif [2009]. Les pratiques énergétiques des ménages du périurbain. Note rapide, Habitat, n°492, PUCA, IAU, CSTB. (format de cette référence ??, voir aussi le rapport complet si disponible)

CPDT [2002]. Etude complémentaire relative aux profils d'accessibilité – profils de mobilité. -ULg, 74p.

CPDT [2005]. Rapport final de la subvention 2004-2005. Thème 2. Contribution du développement territorial à la réduction de l'effet de serre. Résumé et annexe. Ministère de la Région Wallonne.

CPDT [2010]. Rapport final de la subvention 2009-2010. Thème 2b. Structuration du territoire pour répondre aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ministère de la Région wallonne.

Crouzet . [2010]. SAFE. Rapport Etude Thermique Complémentaire – Quartier Mixte. Rapport de stage, LEMA.

CSTC [1994]. La ventilation des habitations 1^{ère} partie principes généraux, Coordinateur P. Wouters, Note d'information technique 192, Juin 1994. www.cstc.be

CSTC [1997]. La ventilation des habitations 2^e partie : Mise en œuvre et performances des systèmes de ventilation, Coordinateur P. Wouters, Note d'information technique 203, Mars 1997. www.cstc.be

De Herde A. et al. [1994]. Les conclusions de Pléiade, De Herde A., Bodart M., Université catholique de Louvain Architecture et Climat, 1994.

Delmotte C. [2008]. Réglementation sur la performance énergétique des bâtiments : du nouveau à Bruxelles et en Wallonie, Les Dossiers du CSTC, N° 4, Cahier n° 1, 2008.

Desjardins X. [2009]. Peut-on habiter au vert quand le pétrole devient cher ? Revue POUR, n°199, pp. 116-122.

Desjardins X., Llorente M. [2009]. Quelle contribution de l'urbanisme et de l'aménagement du

territoire à l'atténuation du changement climatique ? Revue de la littérature scientifique sur le lien entre les formes d'organisation territoriale, les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre. CSTB, Département Economie et Sciences Humaines. Laboratoire de Sociologie Urbaine Générative.

Dubois O., Hanin Y. [2005]. Centres et périphéries : entre développement territorial soutenable et financement des collectivités locales. Bulletin de documentation du Service Public Fédéral Finances – Belgique, 65^{ème} année, n°2.

Djupkas O.T., Nesbakken R. [1995]. Energy use in household 1993. SSB Report 95/10, Oslo.

EEA [2006]. Urban sprawl in Europe. The ignored challenge. Final report. Copenhagen; European Environment Agency; 2006; 1.

ENERDATA [2004]. Efficacité énergétique des modes de transport. Rapport final. Grenoble-Gières.

Energie+ [2010]. Conception et rénovation des bâtiments tertiaires, Architecture et climat, Université Catholique de Louvain, version 6, 2010.

FEIST W. [2007]. Logiciel de conception de maison passive 2007 PHPP2007, Passivhaus Institut, Darmstadt, novembre 2007

Fouchier V. [1997]. Les densités urbaines et le développement durable. Le cas de l'Ile-de-France et des villes nouvelles. Editions du Secrétariat général du groupe central des villes nouvelles, 212p.

Giuliano G., Small K.A. [1993]. Is the journey to work explained by urban structure ? Urban studies 9, 1485-1500.

Goetghebuer Th. [2008]. Fiche thématique Projet RELOSO, MATRIciel, Conseils et études en Architecture durable, Goetghebuer Th., 2008.

Hall et al. [2003]

Halleux JM. Urban sprawl, Urban Containment and Land Management. A Reflection on the Concept of Urban Land Supply. In: Sitar M, editor. Urban future: Challenges and opportunities for city and region developments. Maribor: University of Maribor Press; 2008. p. 259-68.

Hauglustaine J.-M. et al. [2006]. La rénovation et l'énergie, Guide pratique pour les architectes, Université de Liège, Université Catholique de Louvain, Ministère de la Région Wallonne, sous la dir. de : Hauglustaine J.-M., Simon F., Février 2006.

Harmaajärvi I. EcoBalance model for assessing sustainability in residential areas and relevant case studies in Finland. Environ Impact Assess Rev; 2000; 20:373-80.

Hilderson W. et al. [2010]. Potential of Low Energy Housing Retrofit: insights from building stock analysis, W. Hilderson, E. Mlecnik, J. Cré, financé par la Politique Scientifique Fédérale, dans le cadre du « Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique », www.lehr.be, 2010.

Holden E. [2001]. Housing as basis for sustainable consumption. Thèse de doctorat 2001, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

Holden E., Norland I. [2005]. Three Challenges for the Compact City as a Sustainable Urban Form : Household Consumption of Energy and Transport in Eight Residential Areas in the Greater Oslo Region", in *Urban Studies*, Vol. 42, n° 12, pp. 2145-2166, November 2005

Hubert J-P. [2004]. Mobilité urbaine, périurbaine, rurale en Belgique : où sont les différences ? In *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n° 45, pp 83-100.

Hubert J.-P., Toint P. [2002]. La mobilité quotidienne des belges. Presses Universitaires de Namur.

IBGE [2010]. « Les exigences en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments (exigences PEB) », IBGE, Infos fiches-énergie, www.ibgebim.be, 2010.

IBGE [2007]. Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, IBGE - Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, Infos fiches-éco-construction, (<http://www.ibgebim.be/>), 2007

IBGE et ABEA [2009]. Quelle est la consommation moyenne des électroménagers ? (ELEC 05), Bruxelles Environnement - IBGE et ABEA, Agence bruxelloise de l'énergie, Aout 2009

ICEDD [2005]. Bilan énergétique wallon 2005. Consommations du secteur logement 2005. MRW, Direction générale des Technologies, de la recherche et de l'Energie, Namur.

IEA. [1988]. Technical note AIVC 23 – Inhabitant behaviour with respect to ventilation – a summary report of IEA Annex VIII.

Jenks M, Burgess R, editors. Compact cities: sustainable urban forms for developing countries. London: spon Press; 2002.

Jones A.M. [2010]. EDSL Ltd., TAS, Software package for the thermal analysis of buildings. 13/14 Cofferidge Close, Stony Stratford, Milton Keynes, MK11 1BY, United Kingdom, 2010.

Kenworthy J.R. [2003]. Transport energy use and greenhouse gases in urban passenger transport systems: a study of 84 global cities. In: Presented to the third Conference of the Regional Government Network for Sustainable Development, September 17-19, 2003, Notre Dame University, Fremantle, Western Australia.

Kints C. [2008]. La rénovation énergétique et durable des logements wallons. Analyse du bâti existant et mise en évidence des typologies de logements prioritaires. Etude réalisée pour MRW-DGTRE dans le cadre de l'IEA-SHC-Task 37 et effectuée en collaboration avec le projet LEHR

pour le compte de la politique scientifique fédérale.

Maizia M., Sèze C., Berge S., Teller J., Reiter S., Ménard R. [2009]. Energy requirements of characteristic urban blocks. Proceedings of the CISBAT 2009 International Scientific Conference on Renewables in a Changing Climate, From Nano to Urban Scale, Lausanne, p 439-444.

Marique A.-F., de Meester T., de Herde A., Reiter S. [2010]. SAFE, Rapport Scientifique et Technique relatif au projet de recherches SAFE, n°1.

Marique A.-F., Reiter S. [2010a]. A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighbourhood scale. IAQVEC 7th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in buildings, Août 15-18. Syracuse, Etats-Unis.

Marique A.-F., Reiter S. [2010b]. A method to assess transport consumptions in suburban areas. PLUREL International Conference on Managing the Urban Rural Interface, Octobre 19-22. Copenhagen, Danemark.

Massart C., De Herde A. [2010]. Conception de maisons neuves durables, Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie, C. Massart, A. De Herde, Architecture et Climat – UCL, financé par Service Public Wallonie DG04 Département de l'Energie et du Bâtiment durable, 2010.

Mettetal L. [2009]. La question énergétique dans l'habitat privé : le profil déterminant des ménages, Note rapide, n°476, IAU Ile-de-France, juin 2009.

Mettetal L. [2009]. La facture énergétique des ménages franciliens, Note rapide, n° 485, IAU Ile-de-France, août 2009.

Mettetal L. [2009]. Les pratiques énergétiques des ménages du périurbain, Note rapide, n° 492, IAU Ile-de-France, novembre 2009.

MIRA [2007]. Milieurapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2007, Transport, Ina De Vlieger, Erwin Cornelis, Luc Int Panis, Liesbeth Schrooten, Leen Govaerts, Luc Pelkmans, Steven Logghe, Filip Vanhove, Kris Vanherle, Griet De Ceuster, Cathy Macharis, Ethem Pekin, Laurence Turcksin, Kelly van Bladel, Marjolein de Jong, Joeri Van Mierlo, Jean-Marc Timmermans, Julien Matheys, Caroline De Geest en Els van Walsum, Vlaamse Milieumaatschappij, www.milieurapport.be

de Meester T. [2009]. Guide de la rénovation basse énergie des logements en Belgique. LEHR, Low Energy Housing Retrofit. <http://www.lehr.be>

NORME NBN D50-001 [2008]. Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation, Bruxelles, NBN, 2008.

NORME NBN B 62-002 [2008]. Performances thermiques de bâtiments. Calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) des composants et éléments de bâtiments. Calcul des coefficients de transfert de chaleur par transmission (valeur HT) et par ventilation (valeur Hv),

Bruxelles, NBN, 2008.

Owens S. [1992]. Energy, environmental sustainability and land use planning. In : M.J. Breheny (Ed) Sustainable development and Urban Forem, pp 79-105. London : Pion Ltd.

Peuportier B. [1989]. Validation of Comfie. Rapport C.E.C. University of Stuttgart I.T.W.

Peuportier B. [2005]. Bancs d'essai de logiciel de simulation thermique. In: Proceedings of Journée Thématique SFT-IBPSA.

Poortinga W., Steg L., Vlek C., Wiersma G. [2003]. Household preferences for energy-saving measures : A conjoint analysis, Journal of Economic Psychology 24, 49-64.

Reiter S., De Herde A. [2004]. L'éclairage naturel des bâtiments. Presses universitaires de Louvain.

Roisin B. et al. [2010]. Guide pratique et technique à l'éclairage des logements, Minergibat – Eclos, B. Roisin, A. Deneyer, M. Bodart, P. D'Herdt, B. Deroisy, J. Deltour, Collaboration entre Architecture et Climat de l'Université Catholique de Louvain et la Division Energie et Climat du Centre Scientifique et Technique de la Construction, sous presse, 2010

Saunders M.J., Kuhnimhof T., Chlond B., da Silva A.N.R. [2008] Incorporating transport energy into urban planning. Transportation Research Part A 42, pp874-882.

Servais M. [2010]. Modélisation de la consommation du chauffage résidentiel en Wallonie. Notes de recherche n°11, CPDT, Région wallonne, 13p.

Secchi 2006 (poster Fabian)

da Silva ANR, Costa GCF, Brondino NCM. Urban sprawl and energy use for transportation in the largest Brazilian cities. Energy for Sustainable Development. 2007;11(3):44-50.

SPW [2008]. (voir facteurs de consommations) ????

Thomas I., Verhetsel A., Witlox F. [2009]. Incorporer l'espace dans la modélisation du choix de destination : le cas de 4 villes flamandes. Cybergéo, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 452, mis en ligne le 30 avril 2009, modifié le 30 avril 2009. URL : <http://cybergeog.revues.org/index22192.html>. Consulté le 16 avril 2010.

Trachte S. [2009]. Advanced housing renovation with solar and conservation, IEA SHC TASK 37, SUBTASK D environmental, impact, assessment, Trachte S., Architecture et climat, Université Catholique de Louvain, 2009.

UITP [2003]. Pour une meilleure mobilité urbaine dans les pays en développement. Rapport D/2003/0105/27. www.uitp.com

Van der Haegen H., Pattyn M. [1979]. Les régions urbaines belges. Institut National de Statistiques, Bulletin de statistique, 5e année, n° 3.

Van der Haegen H., Van Hecke E., Juchtmans G. [1996]. Les régions urbaines belges en 1991. Etudes statistiques de l'INS. 104, 42 p.

Vanneste D. [2007]. Enquête socio-économique 2001 monographies : Le logement en Belgique, Vanneste D., Thomas I., Goossens L., Editeur responsable : N. Demeester, SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie, Direction générale Statistique et Information économique, Bruxelles 2007.

www.maisonpassive.be

www.saint-gobain.com

Table des matières

1. INTRODUCTION	3
2. LES COMPLEMENTS APPORTES A LA PHASE II	4
2.1. Introduction	4
2.2. L'intégration des pressions de vent dans TAS	4
2.3. L'évaluation du quartier de type « mixte »	5
2.4. Les déplacements liés aux commerces et aux loisirs.....	6
3. L'ETAT DE L'ART DES TECHNIQUES DE RENOVATION ENERGETIQUE DES TISSUS PERIURBAINS.....	12
3.1. La situation des bâtiments en Belgique.....	12
3.2. La rénovation : l'enveloppe avant tout	15
3.3. La rénovation des systèmes.....	25
3.4. Le potentiel des énergies renouvelables	29
3.5. L'environnement et le développement durable	35
4. L'IMPACT DES CHOIX METHODOLOGIQUES	44
4.1. Introduction	44
4.2. L'impact du choix du logiciel de simulation	44
4.3. L'impact du choix du mode de modélisation.....	51
5. LES VARIATIONS PARAMETREES "BATIMENT"	61
5.1. Le choix des paramètres	61
5.2. L'analyse des quartiers : résultats	101
5.3. Les variations paramétrées : discussions.....	126
5.4. Les conclusions principales	154
6. LES VARIATIONS PARAMETREES « FORME URBAINE».....	155
6.1. Introduction	155
6.2. La continuité entre les bâtiments	155
6.3. L'orientation du quartier	156
6.4. La rénovation énergétique des quartiers	159
6.5. Le croisement des paramètres	161
6.6. Synthèse.....	162

7. LES VARIATIONS PARAMETREES « TRANSPORT » 164

7.1. Introduction	164
7.2. La localisation des quartiers	165
7.3. Les distances parcourues.....	166
7.4. Les performances des véhicules	166
7.5. Le télétravail	168
7.6. Le report modal	169
7.7. Le temps de travail	172
7.8. Synthèse.....	173

8. LA GENERALISATION DE L'APPROCHE « TRANSPORT » 175

8.1. Introduction	175
8.2. L'indice de localisation.....	175
8.3. L'indice de parts modales	193
8.4. Les distances parcourues.....	206
8.5. L'évolution temporelle 1991-2001	220
8.6. Les consommations totales par ancienne commune	230
8.7. Synthèse et perspectives	235

9. L'ESQUISSE D'UNE DEFINITION DU PERIURBAIN 237

9.1. Introduction	237
9.2. Les bases de la définition.....	238
9.3. La confrontation avec les indices "transport"	243
9.4. La confrontation avec les données "population"	244

10. LES CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES..... 246

11. REMERCIEMENTS..... 248

12. BIBLIOGRAPHIE 248

ANNEXE 1 : PLANS ET COUPES DES MAISONS MODELISEES

ANNEXE 2 : INFLUENCE DES MODES D'OCCUPATION : RESULTATS COMPLETS

Table des matières [Annexes]

TABLE DES MATIERES [ANNEXES].....	1
--	----------

ANNEXE 1 : PLANS & COUPES DES MAISONS ANALYSEES.....	2
--	----------

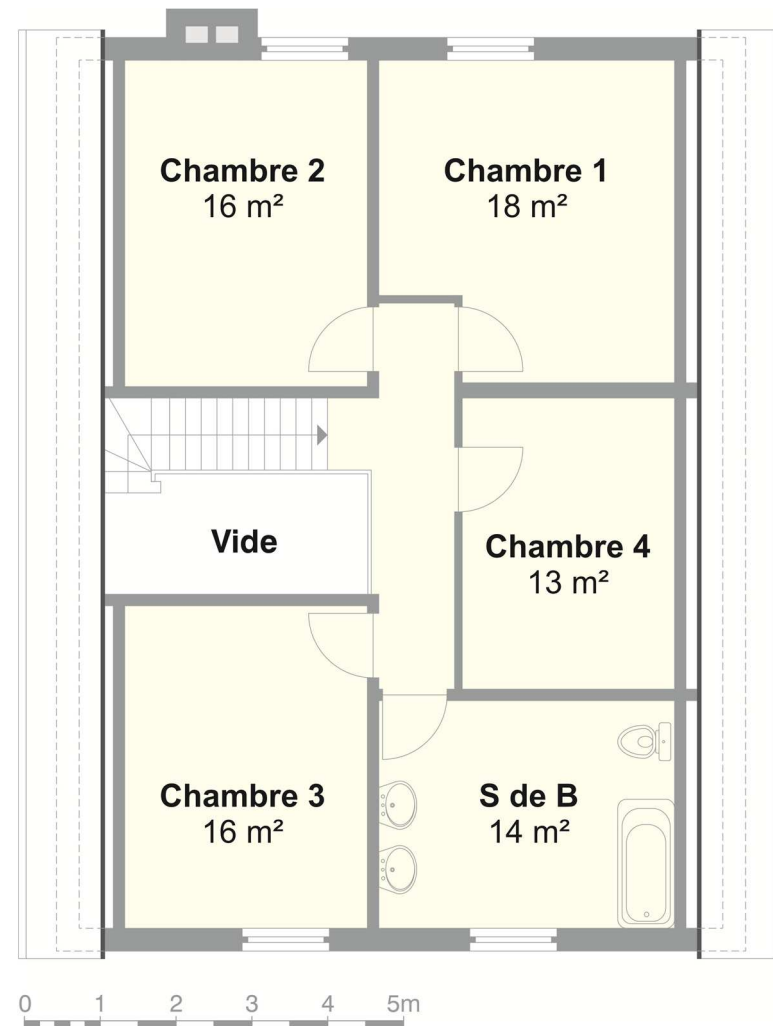
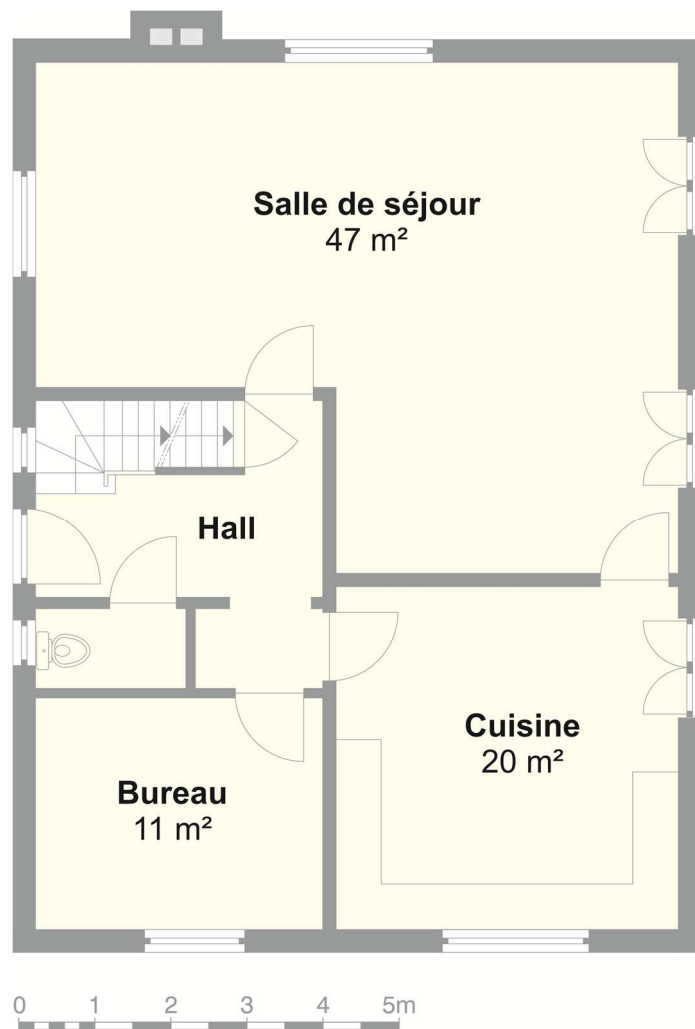
1.1. QUARTIER NAPPE : MAISON UNIFAMILIALE « 4 FAÇADES » RUE DU FENOUIL 3 (RUBAN)	3
1.2. QUARTIER NAPPE : MAISON UNIFAMILIALE « 4 FAÇADES » FENOUIL 7	5
1.3. QUARTIER SEMI-MIToyEN : MAISON SOCIALE « 3 FAÇADES » DE LA CITE CHAVEE	7
1.4. QUARTIER SEMI-MIToyEN : MAISON SOCIALE « 2 FAÇADES » DU FOYER FONTAINOIS	8
1.5. QUARTIER MIXTE : ANCIENNE FERME A CHAUMONT-GISTOUX	12
1.6. QUARTIER MIXTE : ANCIENNE FERME A BOUSVAL.....	14

ANNEXE 2 : L'INFLUENCE DES MODES D'OCCUPATION : RESULTAT PLUS COMPLETS DES DEMANDES DE CHALEUR DES 11 CAS ETUDIES (EN KWH/M²).	16
--	-----------

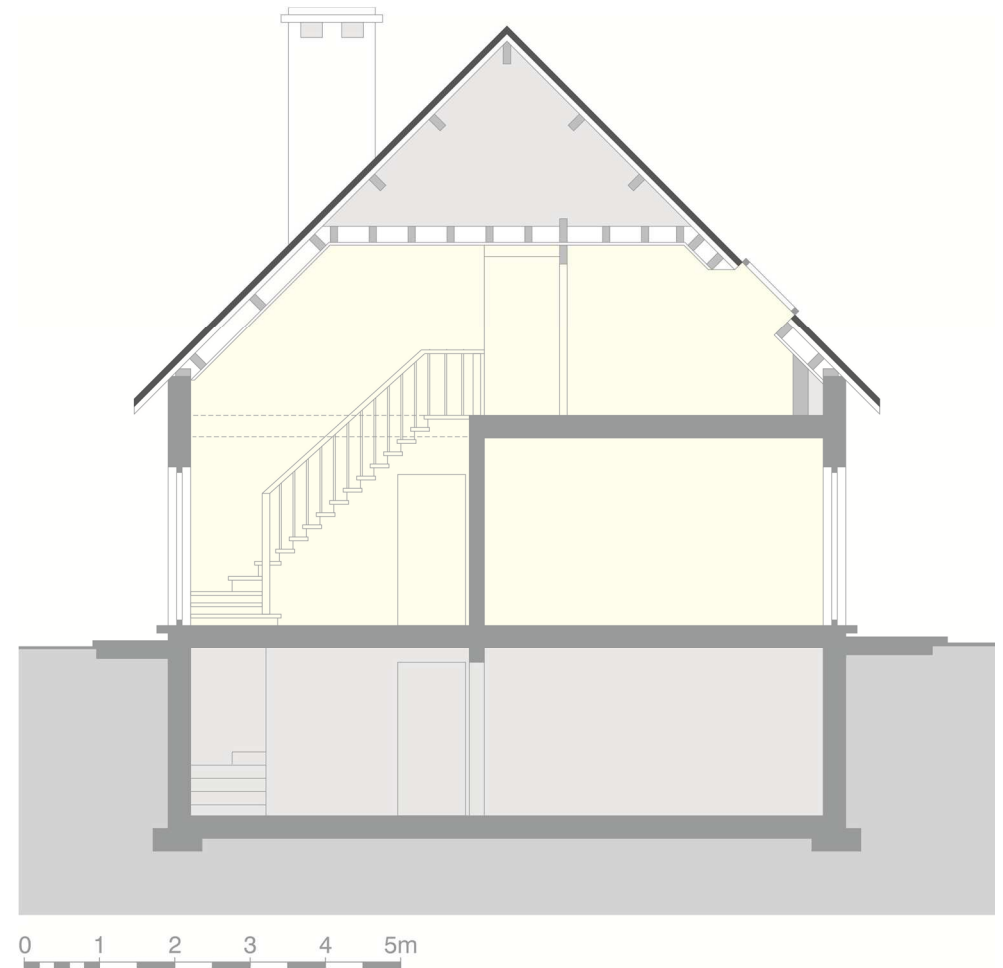
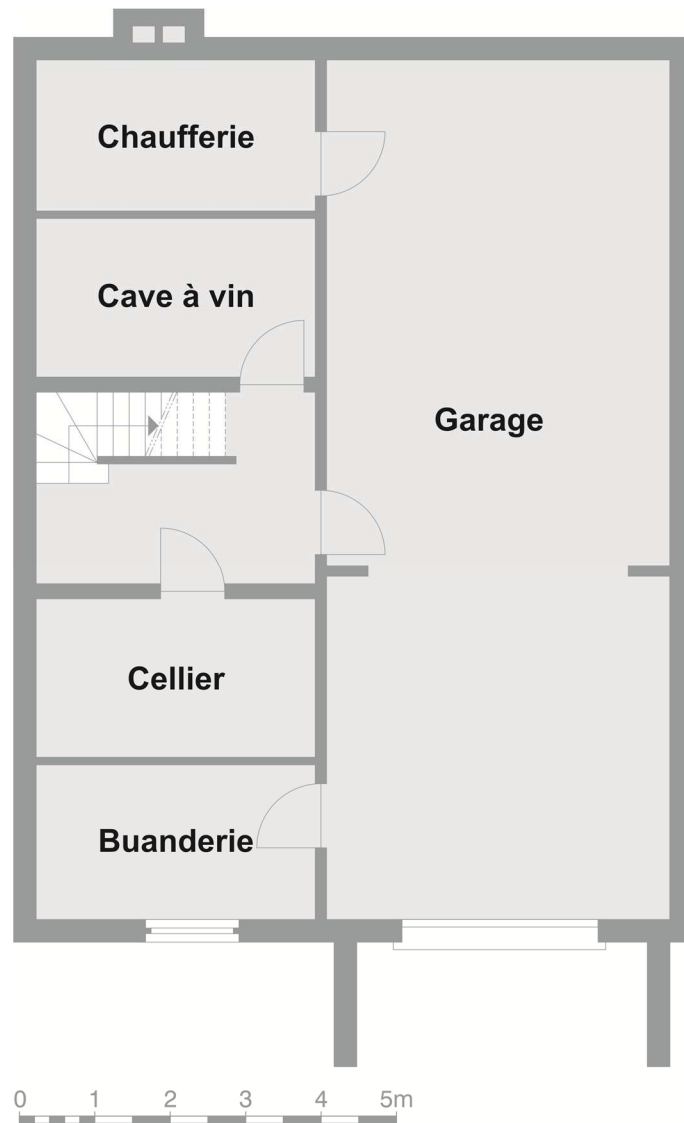
2.1. CAS 1.1	16
2.2. CAS 2.2	16
2.3. CAS 3.3	16
2.4. CAS 3.4	17
2.5. CAS 3.5	17
2.6. CAS 3.6	17
2.7. CAS 3.7	18
2.8. CAS 4.8	18
2.9. CAS 4.9	18
2.10. CAS 4.10	18
2.11. CAS 4.11	19

Annexe 1 : Plans & Coupes des maisons analysées

1.1. Quartier Nappe : Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3 (Ruban)

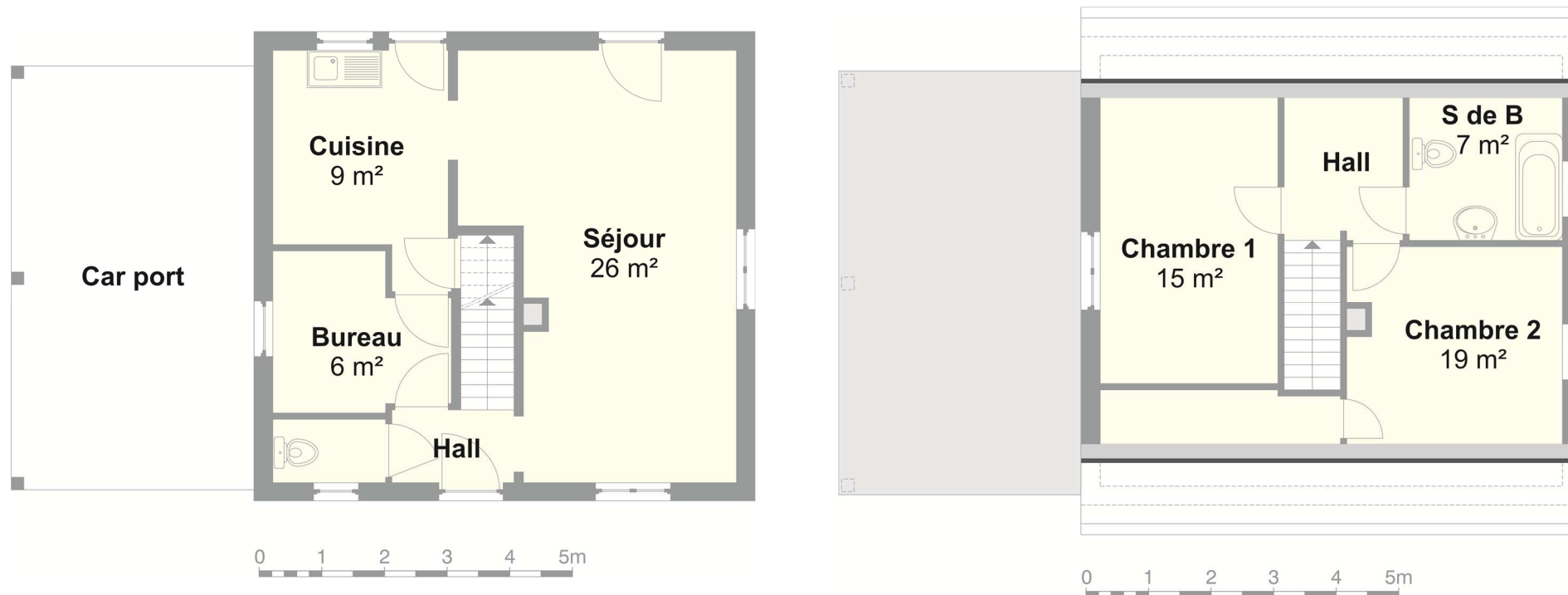


Il s'agit des plans du rez-de-chaussée et de l'étage.

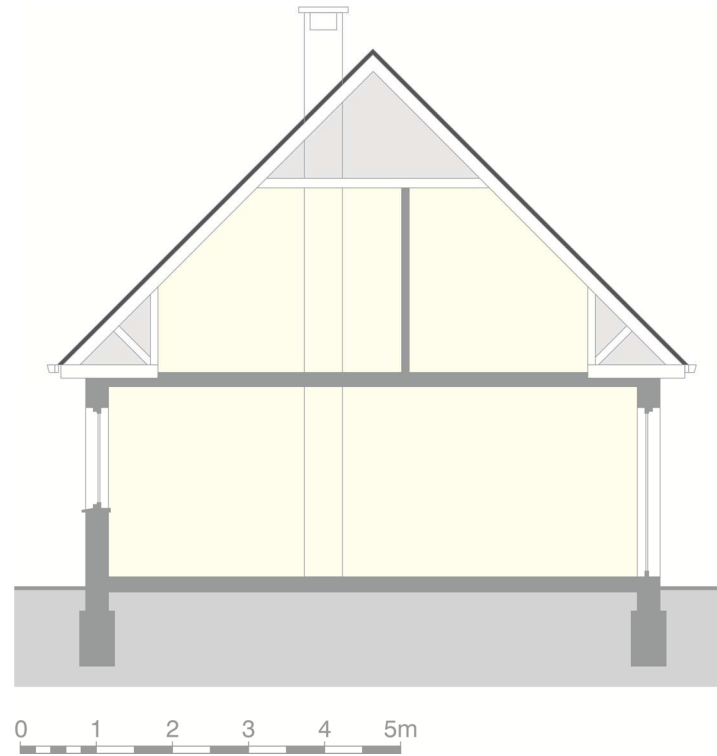


Voici le plan de la cave et une coupe de la maison. Les zones plus grisées ne font pas partie de l'enveloppe isolée et donc chauffée.

1.2. Quartier Nappe : Maison unifamiliale « 4 façades » Fenouil 7

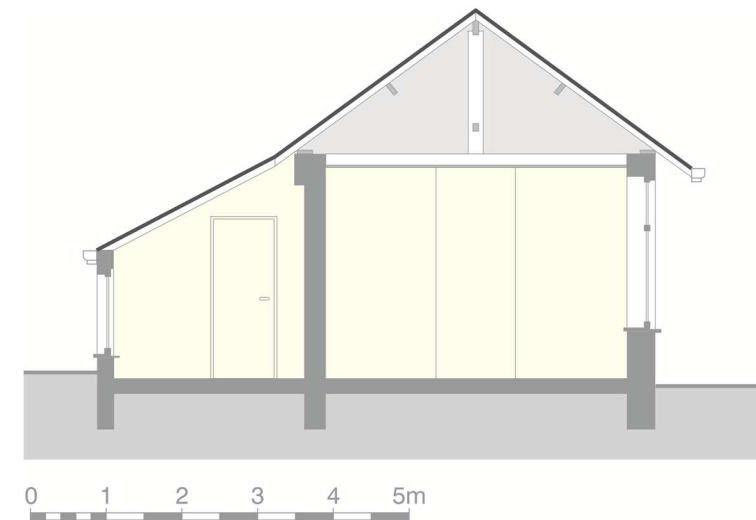
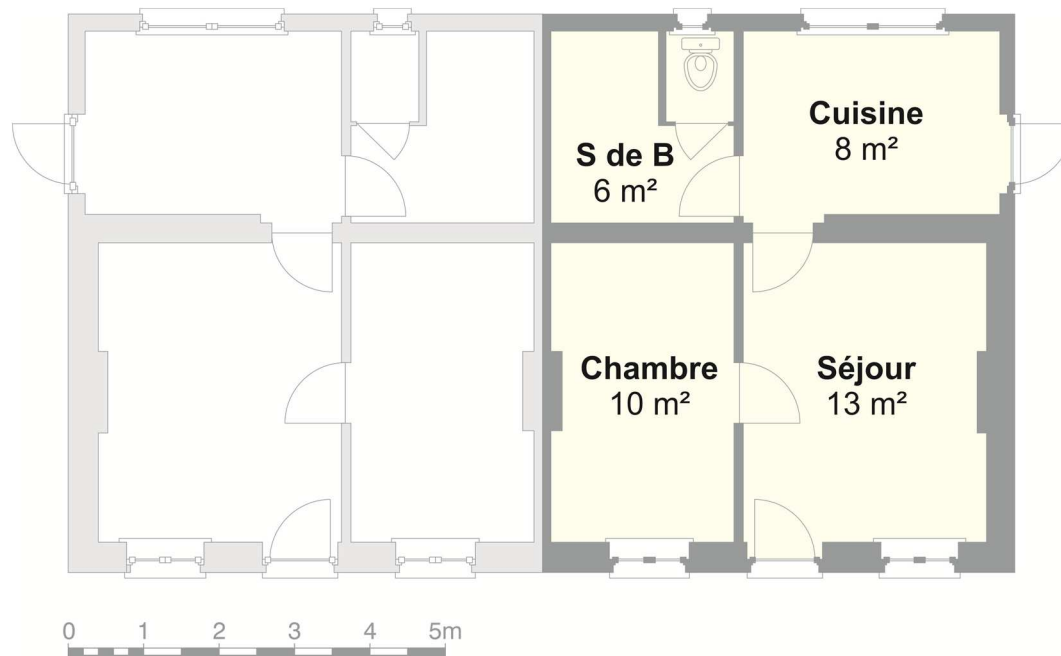


Ces plans représentent le rez-de-chaussée et l'étage.



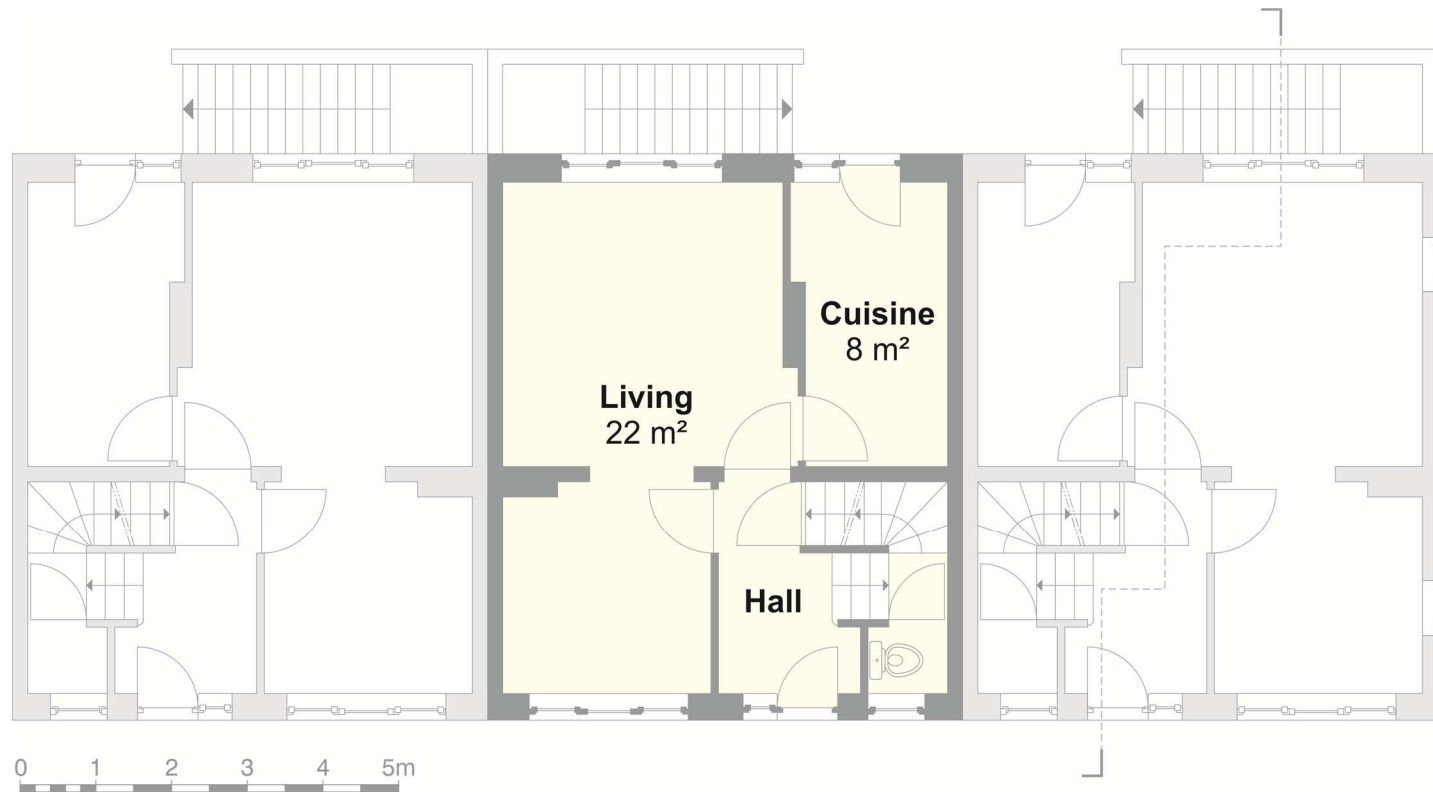
Voici la coupe de la maison.

1.3. Quartier Semi-Mitoyen : Maison sociale « 3 façades » de la Cité Chavée

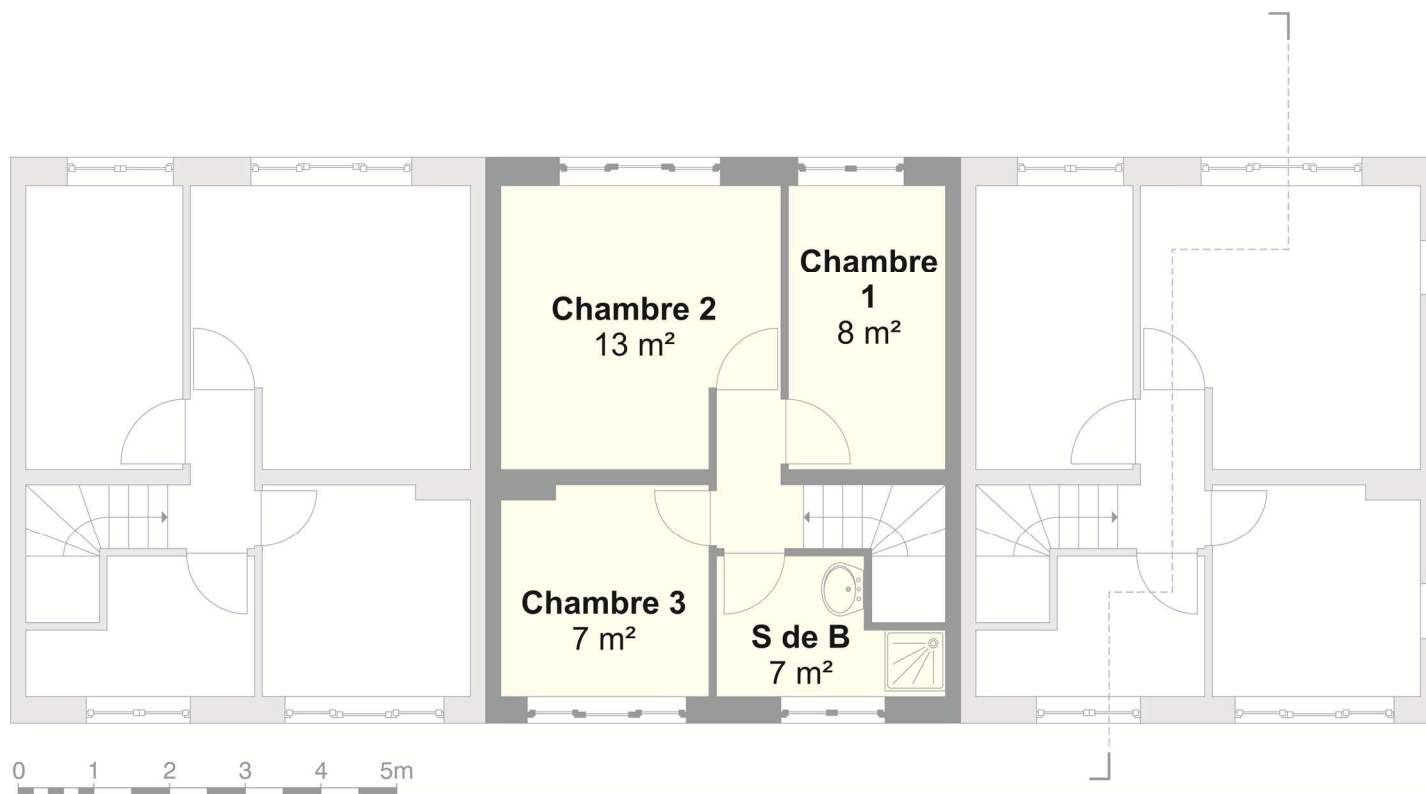


Il s'agit du plan du rez-de-chaussée et de la coupe de cette maison ouvrière de plein-pied et sans étage.

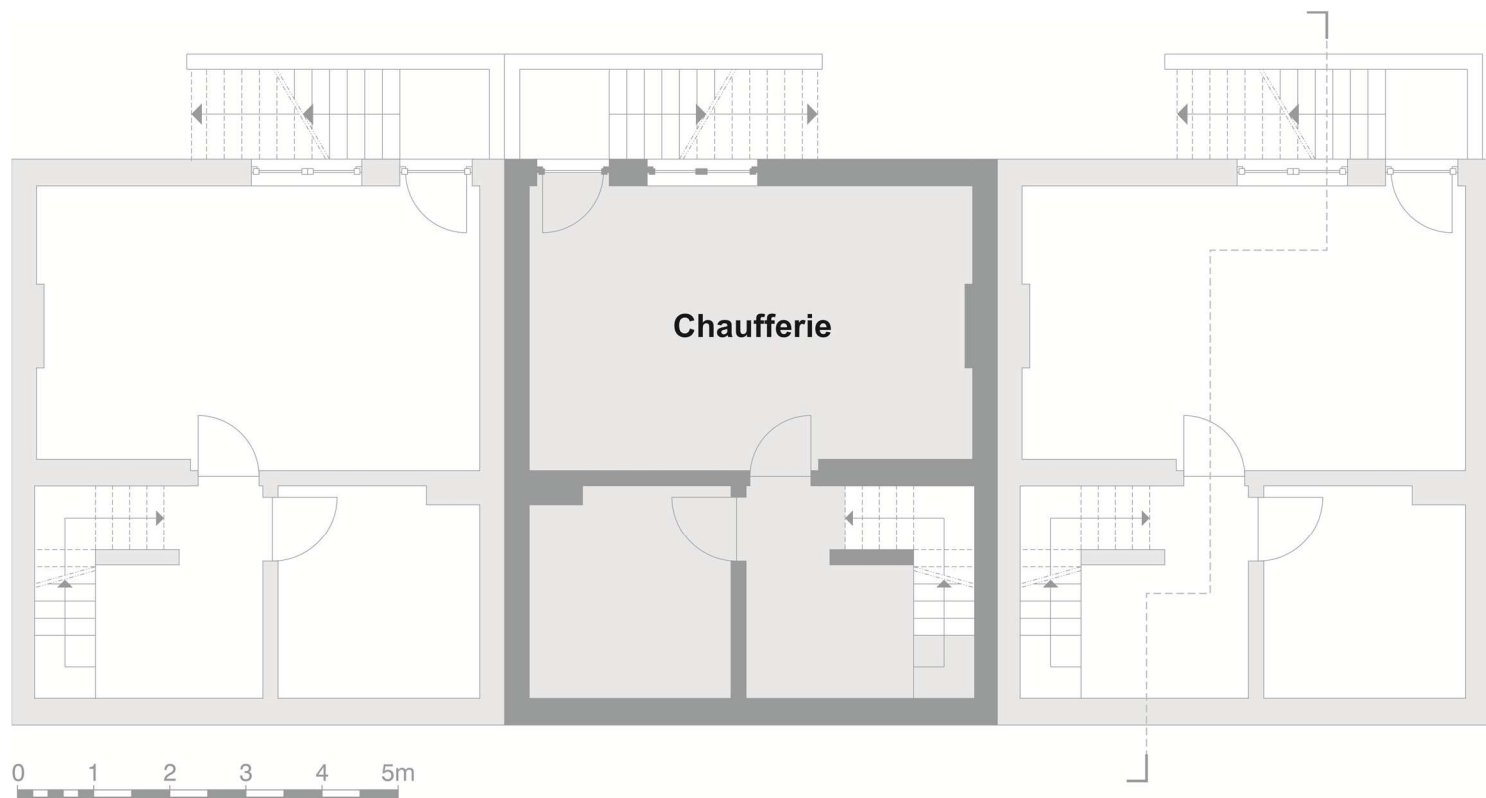
1.4. Quartier Semi-Mitoyen : Maison sociale « 2 façades » du Foyer Fontainois



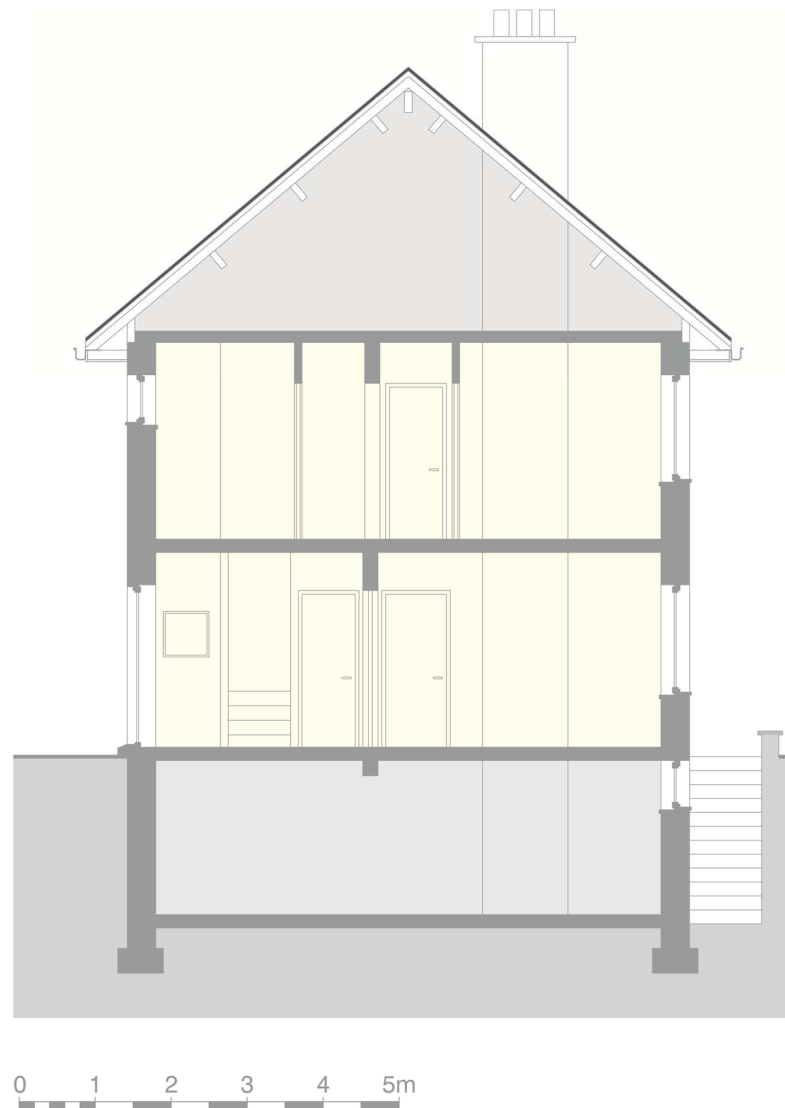
Ce plan représente le rez-de-chaussée de la maison sociale mitoyenne.



Voici l'étage de cette maison sociale mitoyenne, ...

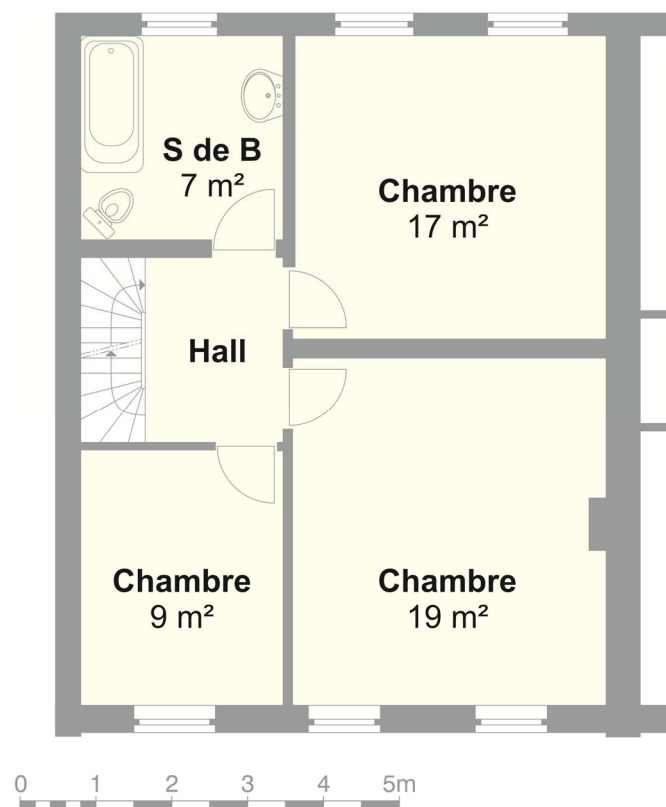
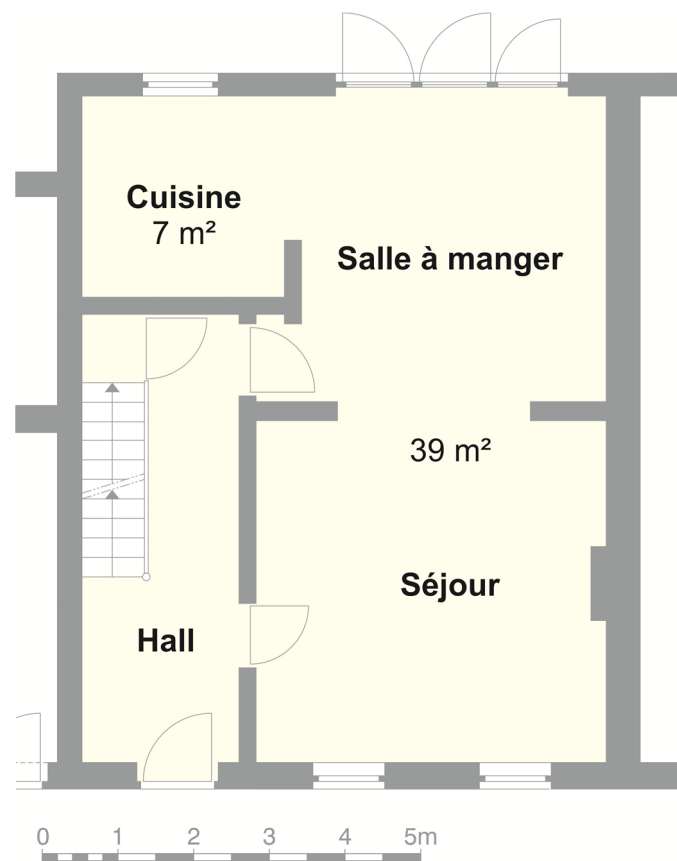


... la cave et ...

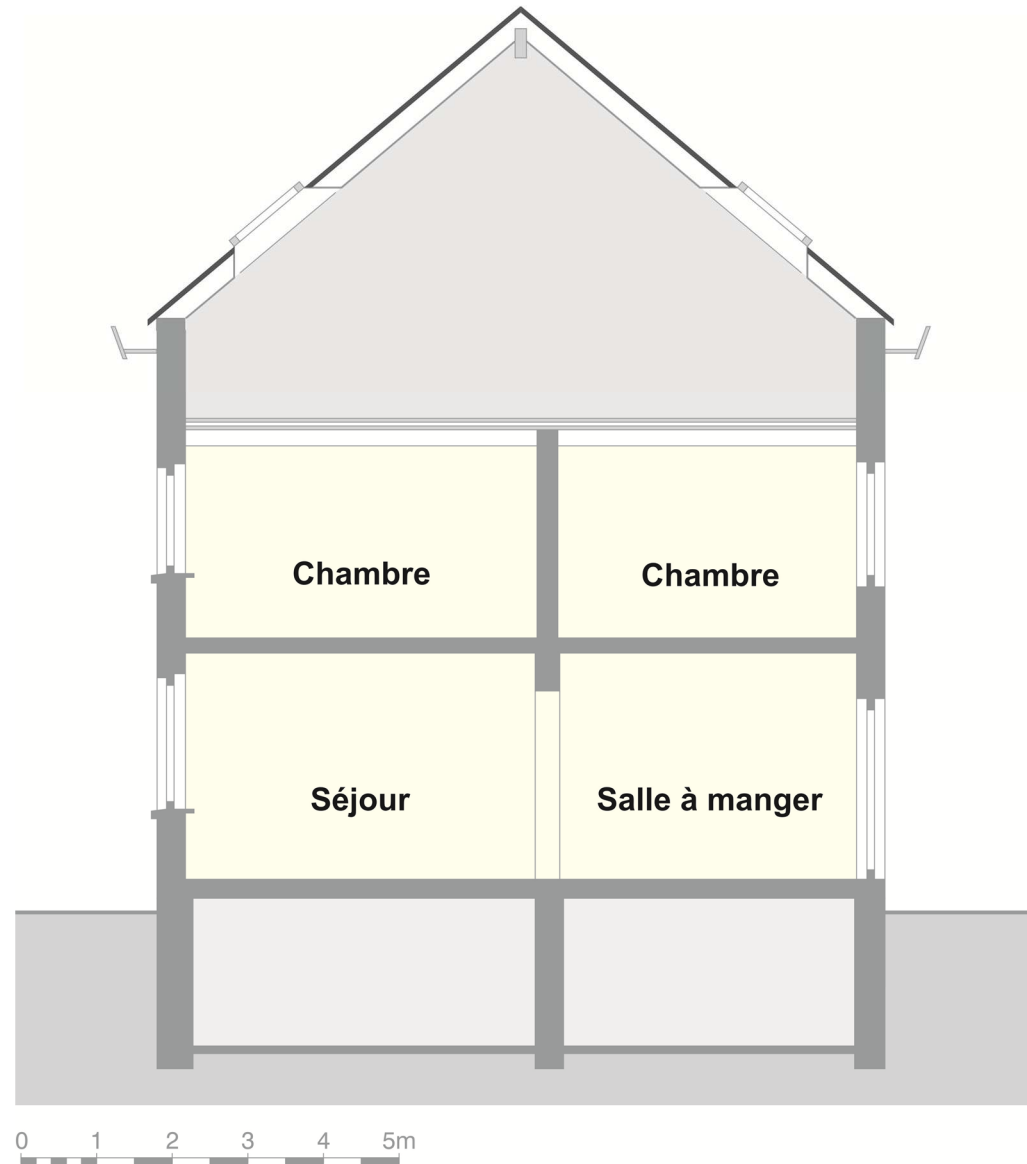
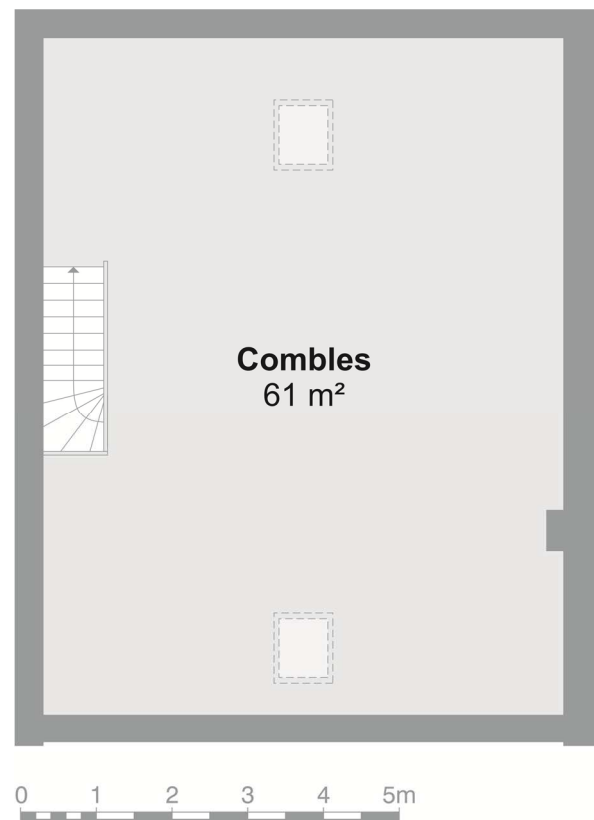


... la coupe où sont visibles les deux étages pris en considération et appartenant au volume chauffé.

1.5. Quartier Mixte : Ancienne ferme à Chaumont-Gistoux



Ces plans représentent le rez-de-chaussée et de l'étage de cette ancienne ferme, soit les deux étages pris en considération et appartenant au volume chauffé.



Voici les combles (avant la rénovation de 2005) et la coupe du bâtiment.

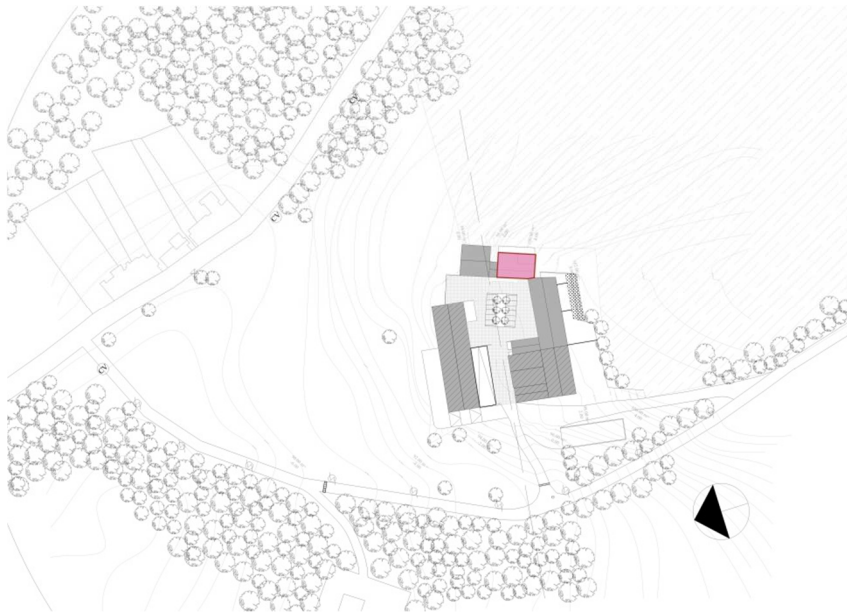
1.6. Quartier Mixte : Ancienne ferme à Bousval

Ces plans représentent le rez-de-chaussée et de l'étage de cette ancienne ferme.



Il s'agit des deux étages pris en considération et appartenant au volume chauffé. Le bâtiment se trouvant au-dessus est l'ancienne grange ou étable qui, après la rénovation de 2007-2009, a été réaménagé en habitation. Les plans de cette réhabilitation sont visibles même si ce bâtiment mitoyen a été considéré comme une grange lors de la modélisation et des simulations TAS. Cette rénovation sera prise en compte lors de la Phase IV.

Ci-dessous, le plan d'implantation d'origine de la ferme de Bousval. Il s'agit d'un environnement rural ce qui ne correspond pas à notre étude. De ce fait, la ferme a été replacée dans le contexte du quartier mixte ce qui est visible sur le plan d'implantation du côté droit.



Annexe 2 : L'influence des modes d'occupation : Résultat plus complets des demandes de chaleur des 11 cas étudiés (en kWh/m²).

Il s'agit des demandes totales de chauffage de la maison Nappe-Fenouil 3 divisée par la surface totale de celle-ci (182m²) suivant les différents modes d'occupation étudié.

2.1. Cas 1.1

Ces résultats sont entièrement visibles dans la partie présentant les résultats des variations paramétrées du bâtiment Nappe-Fenouil 3. Il s'agit du bâtiment de référence ayant servi de base.

2.2. Cas 2.2

	NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
Fenêtre ouverte 1h /j	195.11	101.30	79.97	59.08			
Système C - Vitesse 1 - ventilation 24h/24	186.92	93.11	71.78	50.89			
Système C - Vitesse 3 - ventilation 24h/24					31.03	21.46	16.02
Système D 15% - Vitesse 1 - ventilation 24h/24					59.85	50.20	44.95
Système D 15% - Vitesse 3 - ventilation 24h/24						10.27	5.16
Système C - Vitesse 1 - ventilation 24h/24						13.99	8.60

2.3. Cas 3.3

	NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
Fenêtre ouverte 1h /j	154.78	92.94	76.94	60.50			
Fenêtre ouverte 1h /j (bât à l'abri du vent)	146.35	84.51	68.51	52.06			
Système C - Vitesse 1					30.18	22.00	17.52
Système C - Vitesse 3					43.65	35.49	31.18
Système D 15% - Vitesse 1						16.47	11.88
Système D 15% - Vitesse 3						18.39	13.84

2.4. Cas 3.4

	NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
Fenêtre ouverte 1h /j	170.70	101.35	83.35	64.92			
Fenêtre ouverte 1h /j (bât à l'abri du vent)	162.27	92.92	74.91	56.48			
Système C - Vitesse 1					32.84	23.64	18.56
Idem mais ventilation 24h/24					36.19	26.98	21.91
Système C - Vitesse 3					46.44	37.29	32.41
Idem mais ventilation 24h/24					56.46	47.33	42.45
Système D 15% - Vitesse 1						17.99	12.79
Idem mais ventilation 24h/24						18.48	13.28
Système D 15% - Vitesse 3						19.97	14.80
Idem mais ventilation 24h/24						21.45	16.30

2.5. Cas 3.5

	NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
Fenêtre ouverte 1h /j	132.19	88.25	74.59	59.69			
Fenêtre ouverte 1h /j (bât à l'abri du vent)	123.76	79.82	66.15	51.25			
Système C - Vitesse 1					29.44	21.36	16.73
Idem mais ventilation 24h/24					31.99	23.90	19.29
Système C - Vitesse 3					39.77	31.70	27.22
Idem mais ventilation 24h/24					47.42	39.36	34.89
Système D 15% - Vitesse 1						17.10	12.38
Idem mais ventilation 24h/24						17.48	12.76
Système D 15% - Vitesse 3						18.59	13.90
Idem mais ventilation 24h/24						19.72	15.04

2.6. Cas 3.6

	NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
Fenêtre ouverte 1h /j	231.00	132.15	106.52	80.75			
Fenêtre ouverte 1h /j (bât à l'abri du vent)	220.52	121.67	96.05	70.31			
Système C - Vitesse 1						28.85	22.63
Idem mais ventilation 24h/24					44.82	32.77	26.63
Système C - Vitesse 3						47.74	41.92
Idem mais ventilation 24h/24					72.86	60.31	54.66
Système D 15% - Vitesse 1						21.67	15.38
Idem mais ventilation 24h/24						22.22	15.93
Système D 15% - Vitesse 3						24.14	17.84
Idem mais ventilation 24h/24						25.84	19.55

2.7. Cas 3.7

	NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
Fenêtre ouverte 1h /j	178.71	115.16	95.47	74.54			
Fenêtre ouverte 1h /j (bât à l'abri du vent)	168.22	104.67	85.00	64.09			
Système C - Vitesse 1 - ventilation 24h/24					39.74	29.14	23.49
Système C - Vitesse 3 - ventilation 24h/24					60.90	49.78	44.54
Système D 15% - Vitesse 1 - ventilation 24h/24						21.15	15.39
Système D 15% - Vitesse 3 - ventilation 24h/24						23.90	18.15

2.8. Cas 4.8

	NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
Fenêtre ouverte 1h /j	214.71	122.76	99.07	74.88			
Fenêtre ouverte 1h /j (bât à l'abri du vent)	220.52	112.22	88.54	64.39			
Système C - Vitesse 1 - ventilation 24h/24					40.69	29.43	23.52
Système C - Vitesse 3 - ventilation 24h/24					67.62	55.78	50.46
Système D 15% - Vitesse 1 - ventilation 24h/24						19.51	13.54
Système D 15% - Vitesse 3 - ventilation 24h/24						22.90	16.90

2.9. Cas 4.9

	NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
Fenêtre ouverte 1h /j	175.43	111.96	92.36	71.62			
Fenêtre ouverte 1h /j (bât à l'abri du vent)	164.94	101.48	81.90	61.19			
Système C - Vitesse 1 - ventilation 24h/24					36.99	26.64	20.87
Système C - Vitesse 3 - ventilation 24h/24					57.89	46.92	41.51
Système D 15% - Vitesse 1 - ventilation 24h/24						18.91	13.15
Système D 15% - Vitesse 3 - ventilation 24h/24						21.57	15.78

2.10. Cas 4.10

	NI	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Fenêtre ouverte 1h /j	177.48	118.49	100.29	80.96			
Fenêtre ouverte 1h /j (bât à l'abri du vent)	167.09	108.10	89.90	70.57			
Système C - Vitesse 1 - ventilation 24h/24					43.61	33.12	26.25
Système C - Vitesse 3 - ventilation 24h/24					63.21	52.84	46.13
Système D 15% - Vitesse 1 - ventilation 24h/24						24.83	17.86
Système D 15% - Vitesse 3 - ventilation 24h/24						27.73	20.80

2.11. Cas 4.11

	NI	3 cm	6 cm	SA	BE	TBE	SP
Fenêtre ouverte 1h /j	215.15	129.09	106.98	84.42			
Fenêtre ouverte 1h /j (bât à l'abri du vent)	204.68	118.63	96.53	73.97			
Système C - Vitesse 1 - ventilation 24h/24					47.58	36.27	29.25
Système C - Vitesse 3 - ventilation 24h/24					72.59	61.44	54.66
Système D 15% - Vitesse 1 - ventilation 24h/24						25.75	18.53
Système D 15% - Vitesse 3 - ventilation 24h/24						29.44	22.30



SUBURBAN AREAS FAVORING ENERGY EFFICIENCY [SAFE]

RAPPORT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE N°3

Chercheuses : A-F. Marique, T. de Meester
Encadrement : A. de Herde, S. Reiter

LEMA [ULg] - Architecture & Climat [UCL]

15 mai 2012

Suburban Areas Favoring Energy efficiency (SAFE)

Rapport Scientifique et Technique (n°3)

1/Introduction et rappel des phases précédentes

2/Phase IV : Complément sur les vitrages et l'isolation du toit p.5

3/Phase IV : Scénarios de renouvellement des quartiers p.19

4/Phase IV : Analyse du parc de logement p.48

5/Phase IV : Simulations logement pour l'outil interactif p.62

6/Phase V : Création de l'outil interactif p.71

7/Phase V : Diffusion des résultats de la recherche p.93

Annexe I : Les fiches pratiques

Annexe II : Présentation des séminaires SAFE

Annexe III : Résultats bâtiments complémentaires

Auteurs : Anne-Françoise Marique (LEMA, Université de Liège)
Tatiana de Meester (Architecture & Climat, Université catholique de Louvain)

Encadrement : André De Herde (Architecture & Climat, Université catholique de Louvain)
Sigrid Reiter (LEMA, Université de Liège)

Période de travail : Janvier 2011 - Avril 2012
Date: 31 mai 2012

1. Introduction

Le projet de recherches SAFE (« *Suburban Areas Favoring Energy efficiency* ») porte sur l'évaluation énergétique des quartiers périurbains wallons existants dans le but d'en améliorer l'efficacité énergétique, notamment par le développement de nouveaux modes de conception et de planification de ces tissus. Cette recherche consiste en une modélisation énergétique globale des quartiers périurbains (intégrant l'évaluation énergétique des bâtiments, du transport et des réseaux d'énergie) sur toute la durée de leur cycle de vie. L'objectif concret de ce projet de recherches est de fournir un outil informatique interactif, accessible sur le web, qui permette d'évaluer l'efficacité énergétique des quartiers périurbains wallons existants et de tester différents scénarios de renouvellement.

Le projet de recherches SAFE est planifié sur une période de trois ans, de février 2009 à janvier 2012 et a été étendu, par avenant avec modification de budget jusqu'au 30 avril 2012. Il est structuré autour de cinq phases principales : l'état de l'art, la définition d'une typologie des quartiers périurbains wallons et la sélection des cas d'étude (phase I) ; le développement de méthodes d'évaluation et la modélisation énergétique de chacun des quartiers-types choisis, sur base de la configuration, des techniques et des usages actuels (phase II) ; la modélisation des quartiers-types sur base d'une variation paramétrée des principales caractéristiques architecturales et urbaines des tissus sélectionnés (phase III) ; la formalisation et la modélisation énergétique de différents scénarios de renouvellement des tissus périurbains (phase IV) ; et la diffusion des résultats de la recherche, notamment via la publication de l'outil interactif final (phase V).

Un premier rapport scientifique et technique, envoyé à la Région wallonne en janvier 2010, couvrait la première année de travail et présentait les résultats des phases I et II de la recherche. Après un large état de l'art relatif à l'étalement urbain et aux méthodes d'évaluations énergétiques existantes, il abordait les méthodes développées et utilisées pour réaliser l'évaluation énergétique des quartiers périurbains types en l'état actuel et les résultats concrets de cette évaluation, en phase d'utilisation et en cycle de vie.

Le deuxième rapport scientifique et technique couvrait la période de travail qui s'est étendue de janvier à décembre 2010. Il a apporté quelques compléments à la phase II, conformément au retour obtenu lors du comité d'accompagnement de janvier 2010. Ce rapport a abordé successivement l'impact des logiciels et des choix méthodologiques adoptés sur les résultats des simulations, un état de l'art des principales techniques de rénovation énergétique applicables en milieu périurbain, les variations paramétrées « bâtiment », les variations paramétrées relatives à la forme urbaine et au transport des personnes et enfin, de la généralisation de l'approche « transport » développée, à l'ensemble du territoire wallon et l'esquisse d'une définition du territoire périurbain wallon. L'objet de ces développements était de déterminer les paramètres qui ont le plus d'influence sur les consommations énergétiques globales des quartiers périurbains, tant en ce qui concerne le bâtiment, que le quartier et le transport des personnes, afin d'orienter le choix des meilleurs scénarios de renouvellement des tissus périurbains à évaluer lors de la phase IV.

Le présent rapport scientifique et technique (RST 3) couvre la dernière partie de la recherche, qui s'est étendue de février 2011 à avril 2012. Il aborde les deux dernières phases de la recherche (phases IV et V). Ce rapport est structuré en 5 parties principales : le chapitre 2 traite de l'impact des vitrages et d'une isolation renforcée de la toiture, le chapitre 3 traite du renouvellement des quartiers périurbains existants et étudie, sur base des acquis des phases et rapports précédents, différents scénarios de renouvellement des quartiers. Le chapitre 4 aborde la question de l'efficacité énergétique du bâti, à l'échelle de l'ensemble du stock de la Région wallonne. Le chapitre 5 détaille les objectifs, le contenu et les fonctionnalités de l'outil interactif qui a été développé pour valoriser les résultats de la recherche et permettre leur accès à un grand nombre d'acteurs du territoire, y compris le citoyen. Le chapitre 6 aborde enfin la diffusion de la recherche via trois canaux principaux : les publications scientifiques, l'organisation de séminaire de diffusion et les communications de type « grand public ».

2. Vitrage & isolation renforcée du toit

En compléments aux variations paramétrées, une étude sur la variation des types des vitrages et sur l'isolation renforcée des toits à été effectuée sur les différents cas d'étude.

Abréviation de cette partie :

NI :	Bâtiment non isolé
NI T16cm :	Bâtiment sans isolation dans les murs et dalle de sol mais avec 16 cm d'isolation dans le toit
3cm :	Bâtiment avec 3cm d'isolation en moyenne dans les parois (dans les murs, toit et dalle de sol)
3cm T16cm :	Bâtiment avec 3cm d'isolation dans les murs et dalle de sol et 16 cm dans le toit
6cm :	Bâtiment avec 6cm d'isolation en moyenne dans les parois (dans les murs, toit et dalle de sol)
6cm T16cm :	Bâtiment avec 6cm d'isolation dans les murs et dalle de sol et 16 cm dans le toit
Th 20°C:	20°C constant dans les pièces occupées tout au long de l'année
Th 20-16°C :	20 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 16 °C la nuit et en journée (saison de chauffe : du 1 ^{er} octobre au 1 ^{er} mai)
SV 5.8 :	Simple vitrage ($U= 5.8 \text{ W/m}^2.\text{K}$)
DV 2.8 :	Double vitrage ancien ($U=2.8 \text{ W/m}^2.\text{K}$)
DV 1.36 :	Double vitrage performant ($U=1.36 \text{ W/m}^2.\text{K}$)

2.1. Quartier Nappe - Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3

Le graphe suivant illustre premièrement l'impact du choix du vitrage à travers différents niveaux de performance de l'enveloppe. On peut constater que si l'efficacité de l'enveloppe prime sur le choix des vitrages, ce dernier choix apporte cependant des réductions d'énergie à ne pas négliger pour des rénovations locales.

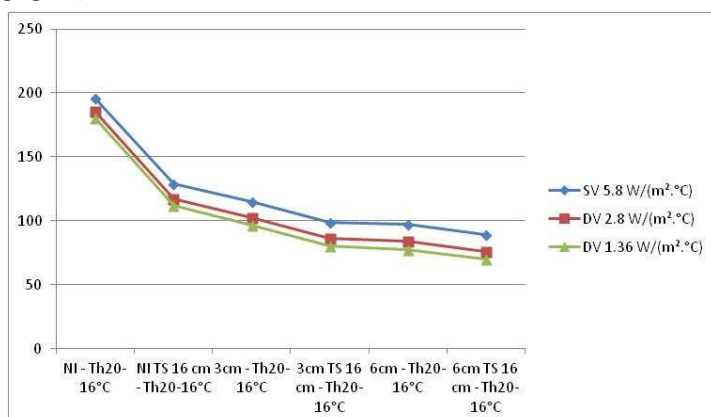


Figure 1 : Demandes de chauffage en kWh/m²/an en fonction des vitrages choisis pour différents niveaux d'isolation avec un thermostat de 20-16°C

Ces réductions sur la demande de chauffage sont visibles sur les deux graphes suivants montrant chacun pour une consigne de température différente. Plus l'enveloppe sera performante, plus les réductions sur la demande de chauffage seront importantes. Et plus la consigne de température sera élevée, plus les réductions le seront également.

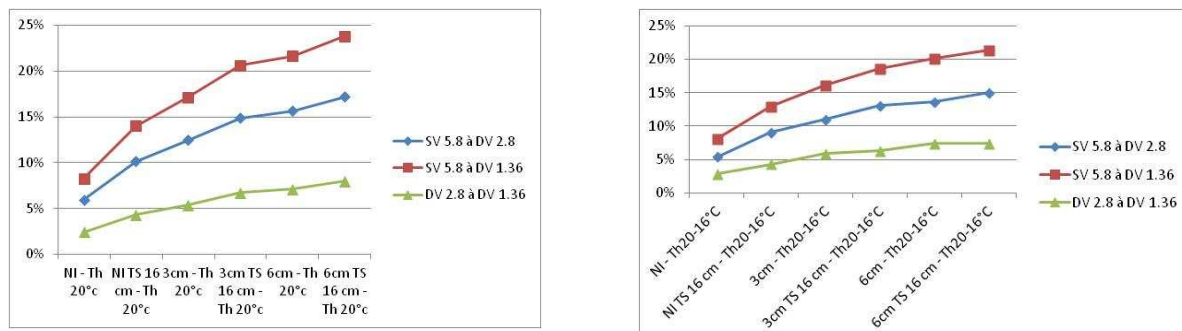


Figure 2 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre plus performant pour un thermostat de 20°C en continu à gauche et de 20°C avec des diminutions à 16°C la nuit et en journée à droite

Le tableau ci-dessous reprend ces réductions de consommation ainsi que d'autres qui permettent de voir dans ce cas Nappe Fenouil 3, les réductions ou non sur la demande de chauffage pour le passage d'un type de vitrage à un autre, pour celui d'un type de thermostat à un autre et en croisant ces changements. Cela illustre plusieurs cas de figure comme entre autres, le « rebond effect » ou des gens ayant changé leurs vitrages pour passer de simples vitrages à des doubles vitrages performants se mettraient à augmenter les consignes du thermostat pour chauffer davantage, persuadés d'avoir mieux isolé et donc de pouvoir consommer plus. Cette attitude entraîne cependant une augmentation de 22.65% si le bâtiment n'est pas isolé au lieu de réduire de 8.09% leur demande de chauffage. Si cette maison avait 6 cm d'isolation en moyenne, une réduction de 2.23% serait perceptible mais les occupants passeraient à côté d'une réduction de 21.64%.

Tableau 1 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre et en passant d'un type de thermostat à un autre

Nappe F3	NI				NI – toit avec 16cm				3cm			
	Th 20-16°C – Th 20-16°C	Th 20°C –Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C – Th 20-16°C	Th 20°C –Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C – Th 20-16°C	Th 20°C –Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			25.21%				23.42%				21.60%	
SV 5.8 à DV 2.8	5.42%	5.98%	-25.71%	29.26%	9.06%	10.14%	- 17.34%	30.36%	10.95%	12.46%	- 11.66%	30.19%
SV 5.8 à DV 1.36	8.09%	8.26%	-22.65%	31.26%	12.97%	14.04%	- 12.26%	33.36%	16.15%	17.18%	-5.63%	34.27%
DV 2.8 -- DV 2.8			24.76%				22.50%				20.25%	
DV 2.8 à DV 1.36	2.82%	2.43%	-29.68%	26.89%	4.30%	4.34%	- 23.44%	25.83%	5.84%	5.40%	- 18.63%	24.91%
DV 1.36 -- DV 1.36			25.06%				22.47%				20.63%	
	3cm – toit avec 16cm				6cm				6cm – toit avec 16cm			
	Th 20-16°C – Th 20-16°C	Th 20°C –Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C – Th 20-16°C	Th 20°C –Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C – Th 20-16°C	Th 20°C –Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			20.62%				19.86%				19.21%	
SV 5.8 à DV 2.8	13.04%	14.90%	-7.20%	30.97%	13.64%	15.65%	-5.25%	30.79%	14.96%	17.18%	-2.51%	31.30%
SV 5.8 à DV 1.36	18.58%	20.62%	0.00%	35.36%	20.06%	21.64%	2.23%	35.94%	21.29%	23.82%	5.70%	36.42%
DV 2.8 -- DV 2.8			18.88%				17.95%				17.04%	
DV 2.8 à DV 1.36	6.37%	6.72%	- 15.00%	24.05%	7.43%	7.10%	- 13.22%	24.05%	7.45%	8.01%	- 10.88%	23.22%
DV 1.36 -- DV 1.36			18.58%				18.24%				16.53%	

2.2. Quartier Nappe - Maison unifamiliale « 4 façades » Fenouil 7

L'étude est la même pour le cas de la Maison unifamiliale « 4 façades » Fenouil 7. L'impact du choix du vitrage à travers différents niveaux de performance de l'enveloppe est illustré ci-dessous et présente les mêmes conséquences.

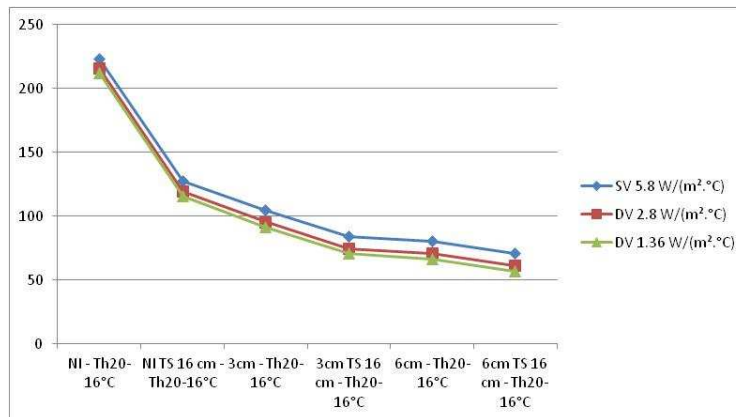


Figure 3 : Demandes de chauffage en kWh/m²an en fonction des vitrages choisis pour différents niveaux d'isolation avec un thermostat de 20-16°C

Ces réductions sur la demande de chauffage sont visibles sur les deux graphes suivants montrant chacun pour une consigne de température différente.

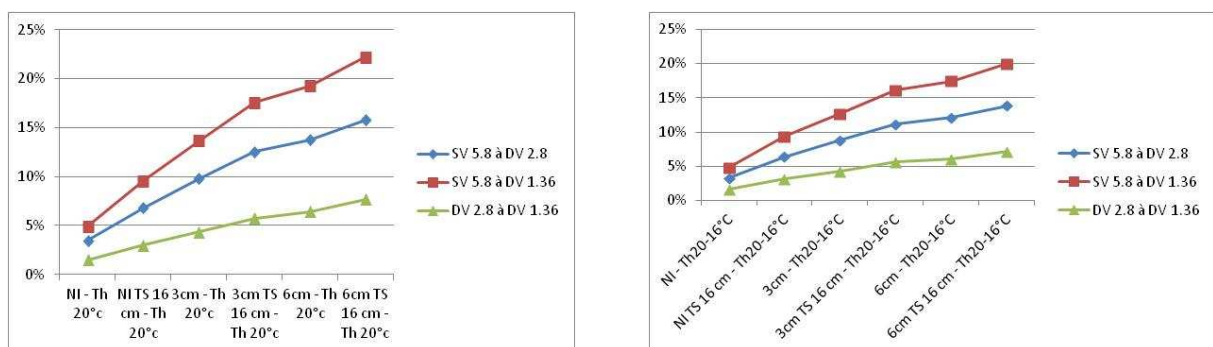


Figure 4 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre plus performant pour un thermostat de 20°C en continu à gauche et de 20°C avec des diminutions à 16°C la nuit et en journée à droite

Le tableau ci-dessous reprend ces réductions de consommation ainsi que d'autres qui permettent de voir dans ce cas Nappe Fenouil 7, les réductions ou non sur la demande de chauffage pour le passage d'un type de vitrage à un autre, pour celui d'un type de thermostat à un autre et en croisant ces changements. Plusieurs cas de figure sont illustrés comme entre autres le « rebond effect ». Pour une maison non isolée, en passant de simples vitrages à des doubles vitrages performants et en augmentant le thermostat pour chauffer davantage, cela va entraîner ici une augmentation de 32.55% si le bâtiment n'est pas isolé au lieu de réduire de 4.84% la demande de chauffage. Si cette maison avait 6 cm d'isolation en moyenne, une

augmentation de 2.73% serait perceptible et les occupants passeraient à côté d'une réduction de 17.44%.

Tableau 2 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre et en passant d'un type de thermostat à un autre

Nappe F 7	NI				NI – toit avec 16cm				3cm			
	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C àTh 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			28.27%				27.88%				23.85%	
SV 5.8 à DV 2.8	3.28%	3.47%	-34.57%	30.62%	6.37%	6.79%	-29.24%	32.47%	8.76%	9.77%	-18.49%	30.52%
SV 5.8 à DV 1.36	4.84%	4.92%	-32.55%	31.74%	9.35%	9.56%	-25.40%	34.62%	12.68%	13.68%	-13.36%	33.50%
DV 2.8 -- DV 2.8			28.13%				27.55%				23.00%	
DV 2.8 à DV 1.36	1.61%	1.50%	- 37.05%	29.28%	3.18%	2.97%	-33.93%	29.86%	4.30%	4.33%	- 24.24%	26.31%
DV 1.36 -- DV 1.36			28.21%				27.71%				22.97%	
	3cm – toit avec 16cm				6cm				6cm – toit avec 16cm			
	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C àTh 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			23.00%				21.41%				20.65%	
SV 5.8 à DV 2.8	11.15%	12.52%	-13.61%	31.59%	12.08%	13.71%	-9.79%	30.90%	13.84%	15.77%	-6.15%	31.63%
SV 5.8 à DV 1.36	16.13%	17.56%	-7.06%	35.42%	17.44%	19.26%	-2.73%	35.11%	19.98%	22.20%	1.95%	36.50%
DV 2.8 -- DV 2.8			21.79%				19.93%				18.83%	
DV 2.8 à DV 1.36	5.61%	5.76%	-20.50%	26.18%	6.09%	6.43%	-16.85%	24.80%	7.13%	7.63%	-13.79%	24.62%
DV 1.36 -- DV 1.36			21.67%				19.63%				18.39%	

2.3. Quartier Ruban - Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3

L'étude a été la même pour le cas de la Maison unifamiliale « 4 façades » rue du Fenouil 3 du quartier Ruban. L'impact du choix du vitrage à travers différents niveaux de performance de l'enveloppe est illustré ci-dessous et présente les mêmes conséquences.

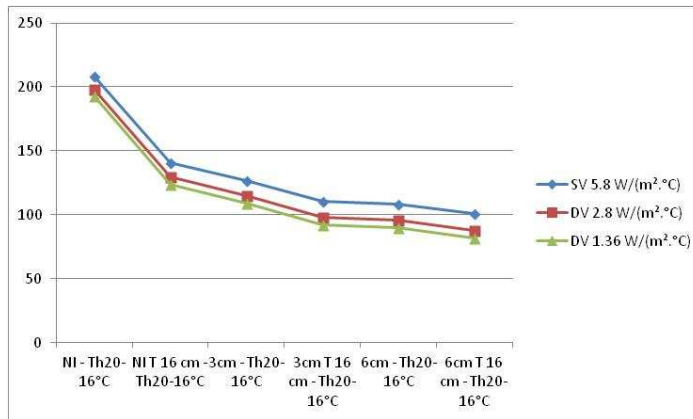


Figure 5 : Demandes de chauffage en kWh/m²an en fonction des vitrages choisis pour différents niveaux d'isolation avec un thermostat de 20-16°C

Ces réductions sur la demande de chauffage sont visibles sur les deux graphes suivants montrant chacun pour une consigne de température différente.

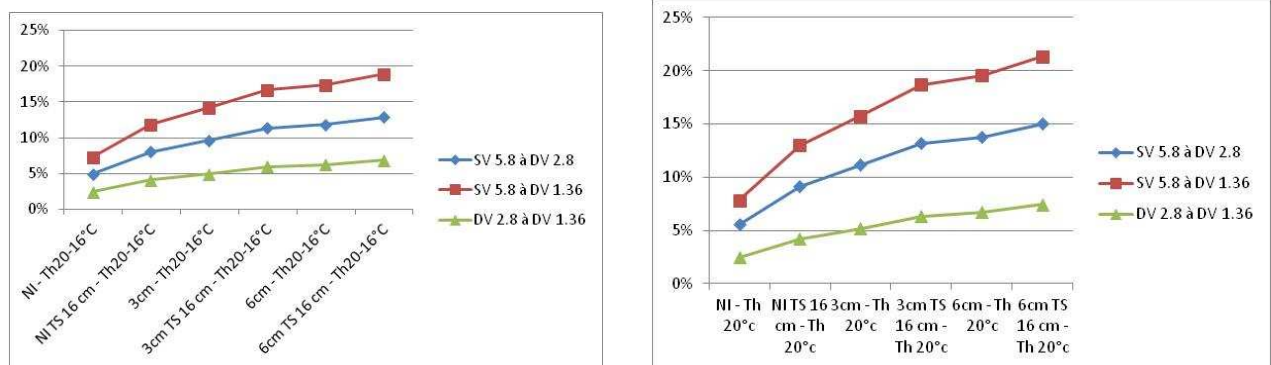


Figure 6 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre plus performant pour un thermostat de 20°C en continu à gauche et de 20°C avec des diminutions à 16°C la nuit et en journée à droite

Le tableau ci-dessous reprend ces réductions de consommation ainsi que d'autres qui permettent de voir dans ce cas Nappe Fenouil 3 du quartier Ruban, les réductions ou non sur la demande de chauffage pour le passage d'un type de vitrage à un autre, pour celui d'un type de thermostat à un autre et en croisant ces changements. Plusieurs cas de figure sont illustrés.

Tableau 3 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre et en passant d'un type de thermostat à un autre

Ruban F3	NI				NI – toit avec 16cm				3cm			
	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			24.64%				22.73%				20.98%	
SV 5.8 à DV 2.8	4.94%	5.52%	-25.37%	28.36%	8.05%	9.14%	-17.59%	28.95%	9.66%	11.13%	-12.47%	28.61%
SV 5.8 à DV 1.36	7.30%	7.82%	-22.32%	30.14%	11.86%	12.95%	-12.65%	31.90%	14.16%	15.74%	-6.64%	32.17%
DV 2.8 -- DV 2.8			24.18%				21.81%				19.68%	
DV 2.8 à DV 1.36	2.48%	2.44%	-28.68%	26.06%	4.14%	4.20%	-22.52%	25.05%	4.99%	5.19%	-18.04%	23.68%
DV 1.36 -- DV 1.36			24.22%				21.76%				19.50%	
	3cm – toit avec 16cm				6cm				6cm – toit avec 16cm			
	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			20.00%				19.29%				18.67%	
SV 5.8 à DV 2.8	11.35 %	13.14%	-8.58%	29.08%	11.86%	13.77%	-6.84%	28.86%	12.90%	15.01%	-4.50%	29.16%
SV 5.8 à DV 1.36	16.65 %	18.64%	-1.71%	33.32%	17.36%	19.53%	0.29%	33.30%	18.91%	21.33%	3.27%	34.05%
DV 2.8 -- DV 2.8			18.35%				17.50%				16.65%	
DV 2.8 à DV 1.36	5.97%	6.33%	-14.73%	23.23%	6.25%	6.67%	-13.12%	22.65%	6.90%	7.43%	-11.06%	22.40%
DV 1.36 -- DV 1.36			18.04%				17.12%				16.17%	

2.4. Quartier Semi-Mitoyen - Maison sociale « 3 façades » de la Cité Chavée

Voici l'étude pour le cas de la Maison sociale « 3 façades » de la Cité Chavée. L'impact du choix du vitrage à travers différents niveaux de performance de l'enveloppe est illustré ci-dessous.

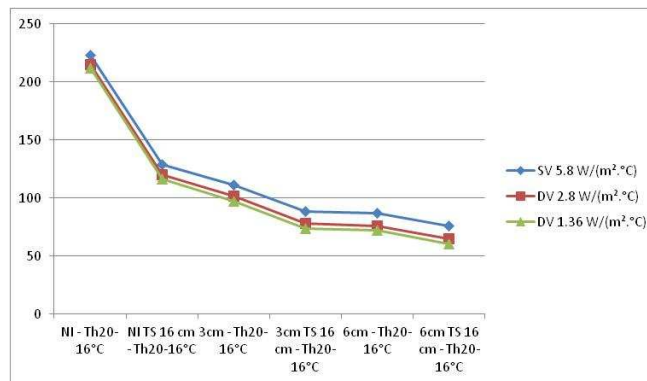


Figure 7 : Demandes de chauffage en kWh/m²an en fonction des vitrages choisis pour différents niveaux d'isolation avec un thermostat de 20-16°C

Ces réductions sur la demande de chauffage sont visibles sur les deux graphes suivants montrant chacun pour une consigne de température différente.

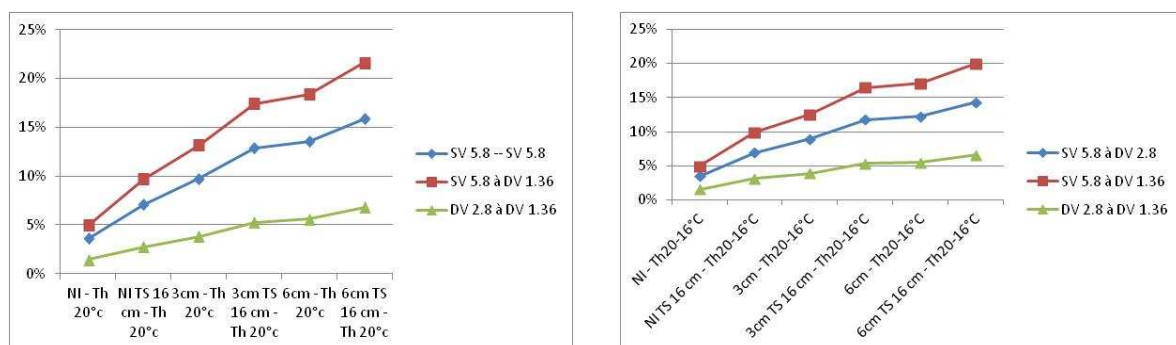


Figure 8 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre plus performant pour un thermostat de 20°C en continu à gauche et de 20°C avec des diminutions à 16°C la nuit et en journée à droite

Le tableau ci-dessous reprend ces réductions de consommation ainsi que d'autres qui permettent de voir dans ce cas Cité Chavée, les réductions ou non sur la demande de chauffage pour le passage d'un type de vitrage à un autre, pour celui d'un type de thermostat à un autre et en croisant ces changements. Plusieurs cas de figure sont illustrés.

Tableau 4 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre et en passant d'un type de thermostat à un autre

Cité Chavée	NI				NI – toit avec 16cm				3cm			
	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C àTh 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			29.71%				31.60%				25.85%	
SV 5.8 à DV 2.8	3.48%	3.60%	-37.15%	32.16%	6.96%	7.11%	-35.79%	36.36%	8.94%	9.74%	-21.72%	32.48%
SV 5.8 à DV 1.36	4.98%	4.97%	-35.19%	33.21%	9.93%	9.69%	-32.03%	38.39%	12.51%	13.17%	-17.10%	35.12%
DV 2.8 -- DV 2.8			29.62%				31.49%				25.19%	
DV 2.8 à DV 1.36	1.56%	1.43%	-40.07%	30.72%	3.19%	2.77%	-41.91%	33.67%	3.92%	3.80%	-28.59%	28.12%
DV 1.36 -- DV 1.36			29.72%				31.78%				25.28%	
	3cm – toit avec 16cm				6cm				6cm – toit avec 16cm			
	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C àTh 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			25.50%				23.39%				22.83%	
SV 5.8 à DV 2.8	11.75%	12.85%	-16.97%	34.25%	12.24%	13.55%	-12.84%	32.76%	14.29%	15.89%	-8.99%	33.86%
SV 5.8 à DV 1.36	16.45%	17.41%	-10.85%	37.75%	17.06%	18.38%	-6.54%	36.46%	19.94%	21.61%	-1.58%	38.22%
DV 2.8 -- DV 2.8			24.56%				22.22%				21.36%	
DV 2.8 à DV 1.36	5.32%	5.23%	-25.62%	28.57%	5.49%	5.59%	-21.39%	26.50%	6.59%	6.80%	-18.52%	26.55%
DV 1.36 -- DV 1.36			24.63%				22.15%				21.19%	

2.5. Quartier Semi-Mitoyen - Maison sociale « 2 façades » du Foyer Fontainois

Voici l'étude pour le cas de la Maison sociale « 2 façades » du Foyer Fontainois. L'impact du choix du vitrage à travers différents niveaux de performance de l'enveloppe est illustré ci-dessous.

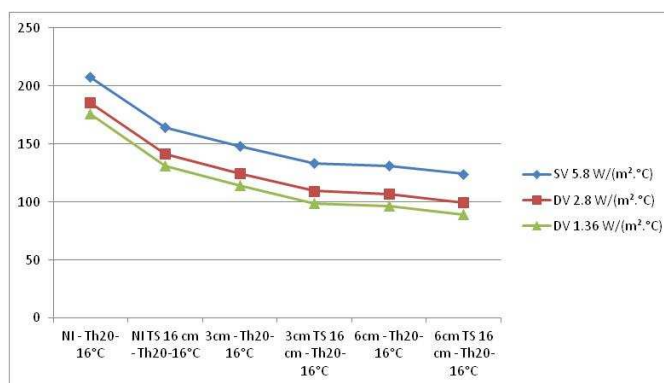


Figure 9 : Demandes de chauffage en kWh/m²an en fonction des vitrages choisis pour différents niveaux d'isolation avec un thermostat de 20-16°C

Ces réductions sur la demande de chauffage sont visibles sur les deux graphes suivants montrant chacun pour une consigne de température différente.

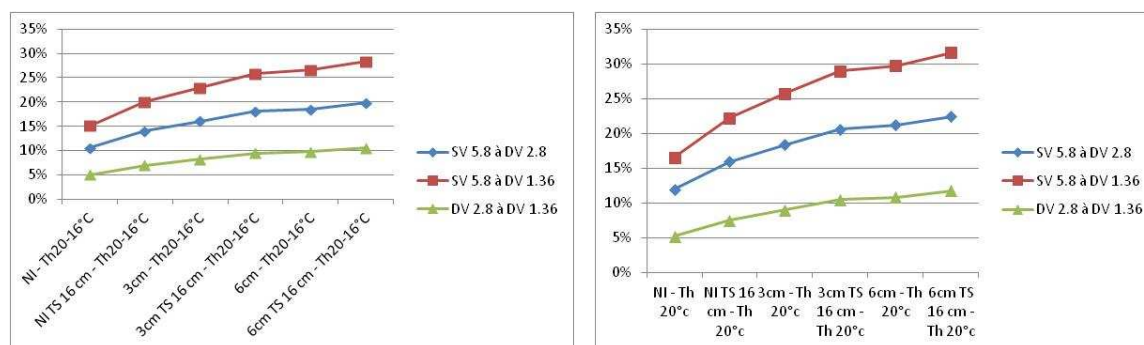


Figure 10 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre plus performant pour un thermostat de 20°C en continu à gauche et de 20°C avec des diminutions à 16°C la nuit et en journée à droite

Le tableau ci-dessous reprend ces réductions de consommation ainsi que d'autres qui permettent de voir dans ce cas Foyer Fontainois, les réductions ou non sur la demande de chauffage pour le passage d'un type de vitrage à un autre, pour celui d'un type de thermostat à un autre et en croisant ces changements. Plusieurs cas de figure sont illustrés.

Tableau 5 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre et en passant d'un type de thermostat à un autre

Foyer Fontainois	NI				NI – toit avec 16cm				3cm			
	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C àTh 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			21.64%				19.90%				18.30%	
SV 5.8 à DV 2.8	10.59%	11.99%	-12.32%	29.94%	14.02%	15.97%	-4.91%	31.13%	16.09%	18.45%	0.18%	31.45%
SV 5.8 à DV 1.36	15.12%	16.62%	-6.41%	33.49%	20.04%	22.28%	2.97%	35.96%	22.97%	25.79%	9.16%	37.07%
DV 2.8 -- DV 2.8			20.40%				18.05%				15.94%	
DV 2.8 à DV 1.36	5.07%	5.26%	-19.01%	24.43%	7.00%	7.52%	-12.85%	23.79%	8.20%	9.00%	-8.25%	22.83%
DV 1.36 -- DV 1.36			20.23%				17.59%				15.19%	
	3cm – toit avec 16cm				6cm				6cm – toit avec 16cm			
	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C àTh 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			17.32%				16.82%				16.27%	
SV 5.8 à DV 2.8	18.08%	20.66%	4.03%	32.27%	18.56%	21.22%	5.29%	32.26%	19.77%	22.47%	7.41%	32.82%
SV 5.8 à DV 1.36	25.87%	29.00%	14.12%	38.71%	26.55%	29.79%	15.59%	38.90%	28.31%	31.63%	18.35%	39.98%
DV 2.8 -- DV 2.8			14.64%				14.01%				13.35%	
DV 2.8 à DV 1.36	9.51%	10.51%	-4.84%	22.75%	9.80%	10.88%	-3.65%	22.44%	10.65%	11.82%	-1.77%	22.58%
DV 1.36 -- DV 1.36			13.68%				12.98%				12.20%	

2.6. Quartier Mixte - Ancienne ferme à Chaumont-Gistoux

2.6.1. Ancienne ferme à Chaumont-Gistoux : avant rénovation

Voici l'étude pour le cas de l'Ancienne ferme à Chaumont-Gistoux.

Comme pour les cas précédents, le tableau ci-dessous reprend les réductions ou non sur la demande de chauffage pour le passage d'un type de vitrage à un autre, pour celui d'un type de thermostat à un autre et en croisant ces changements. Plusieurs cas de figure sont illustrés.

Tableau 6 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre et en passant d'un type de thermostat à un autre

Chaumont-Gistoux	NI				NI – toit avec 16cm				3cm			
	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			24.75%				24.64%				21.99%	
SV 5.8 à DV 2.8	6.16%	6.85%	- 23.79%	29.39%	7.85%	8.73%	- 21.11%	30.55%	10.44%	11.90%	- 12.94%	30.13%
SV 5.8 à DV 1.36	13.41%	14.17%	- 14.07%	34.84%	11.15%	11.92%	- 16.87%	33.04%	21.46%	23.32%	1.71%	38.73%
DV 2.8 -- DV 2.8			24.20%				23.91%				20.70%	
DV 2.8 à DV 1.36	7.73%	7.86%	- 21.55%	30.05%	3.58%	3.50%	- 26.83%	26.63%	12.30%	12.97%	-9.75%	30.46%
DV 1.36 -- DV 1.36			24.09%				23.97%				20.09%	
	3cm – toit avec 16cm				6cm				6cm – toit avec 16cm			
	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			21.53%				19.78%				19.37%	
SV 5.8 à DV 2.8	11.58%	13.24%	- 10.56%	30.62%	5.25%	6.69%	- 16.32%	23.99%	5.67%	7.21%	- 15.09%	23.95%
SV 5.8 à DV 1.36	16.33%	18.05%	-4.44%	34.34%	19.25%	21.50%	2.14%	35.22%	11.64%	13.42%	-7.39%	28.76%
DV 2.8 -- DV 2.8			20.03%				18.54%				18.04%	
DV 2.8 à DV 1.36	5.37%	5.54%	- 18.12%	24.32%	14.78%	15.87%	-3.28%	30.58%	6.32%	6.69%	- 13.85%	23.22%
DV 1.36 -- DV 1.36			19.89%				17.48%				17.72%	

2.6.1. Ancienne ferme à Chaumont-Gistoux : après rénovation où le logis devient mitoyen

Voici l'étude pour le cas de l'Ancienne ferme à Chaumont-Gistoux après une rénovation où le logis devient mitoyen (voir plus loin dans le texte pour plus d'explication).

Le tableau ci-dessous reprend les réductions ou non sur la demande de chauffage pour le passage d'un type de vitrage à un autre, pour celui d'un type de thermostat à un autre et en croisant ces changements. Plusieurs cas de figure sont illustrés. Ce bâtiment une fois rénové, étant plus isolé et donc plus performant, aura des réductions plus importantes.

Tableau 7 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre et en passant d'un type de thermostat à un autre

Chaumont-G. rénové	NI				NI – toit avec 16cm				3cm			
	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			22.90%				21.42%				19.73%	
SV 5.8 à DV 2.8	8.85%	9.98%	- 16.77%	29.73%	11.97%	13.61%	-9.93%	30.83%	13.70%	15.71%	-5.00%	30.73%
SV 5.8 à DV 1.36	12.49 %	13.59%	- 12.08%	32.54%	16.96%	18.72%	-3.43%	34.75%	19.30%	21.54%	2.25%	35.23%
DV 2.8 -- DV 2.8			21.94%				19.93%				17.81%	
DV 2.8 à DV 1.36	3.99%	4.02%	- 22.96%	25.06%	5.67%	5.91%	- 17.50%	24.46%	6.49%	6.91%	- 13.27%	23.15%
DV 1.36 -- DV 1.36			21.92%				19.72%				17.44%	
	3cm – toit avec 16cm				6cm				6cm – toit avec 16cm			
	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C	T _{th} 20-16°C -- T _{th} 20-16°C	T _{th} 20°C --T _{th} 20°C	T _{th} 20-16°C à T _{th} 20°C	T _{th} 20°C à T _{th} 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			18.77%				18.20%				17.62%	
SV 5.8 à DV 2.8	15.55 %	17.89%	-1.09%	31.40%	15.92%	18.37%	0.21%	31.22%	17.03%	19.64%	2.45%	31.65%
SV 5.8 à DV 1.36	21.96 %	24.65%	7.24%	36.61%	22.43%	25.29%	8.67%	36.54%	24.04%	27.12%	11.53%	37.43%
DV 2.8 -- DV 2.8			16.46%				15.74%				14.94%	
DV 2.8 à DV 1.36	7.59%	8.24%	-9.85%	22.80%	7.74%	8.47%	-8.63%	22.26%	8.45%	9.30%	-6.63%	22.13%
DV 1.36 -- DV 1.36			15.87%				15.07%				14.14%	

2.7. Quartier Mixte - Ancienne ferme à Bousval

Voici l'étude pour le cas de l'Ancienne ferme à Bousval.

Le tableau ci-dessous reprend les réductions ou non sur la demande de chauffage pour le passage d'un type de vitrage à un autre, pour celui d'un type de thermostat à un autre et en croisant ces changements. Plusieurs cas de figure sont illustrés.

Tableau 8 : Réduction des demandes de chauffage en % en passant d'un type de vitrage à un autre et en passant d'un type de thermostat à un autre

Bousval	NI				NI - toit avec 16cm				3cm			
	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			26.55%				26.25%				24.72%	
SV 5.8 à DV 2.8	3.85%	4.24%	-30.37%	29.38%	5.00%	5.51%	-28.12%	29.94%	7.09%	7.95%	-22.28%	30.06%
SV 5.8 à DV 1.36	5.57%	5.81%	-28.23%	30.64%	7.23%	7.56%	-25.35%	31.58%	10.18%	10.84%	-18.44%	32.38%
DV 2.8 -- DV 2.8			26.25%				25.85%				24.02%	
DV 2.8 à DV 1.36	1.78%	1.64%	-33.37%	27.57%	2.34%	2.16%	-31.95%	27.59%	3.32%	3.14%	-27.48%	26.54%
DV 1.36 -- DV 1.36			26.36%				25.99%				24.16%	
	3cm - toit avec 16cm				6cm				6cm - toit avec 16cm			
	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C	Th 20-16°C -- Th 20-16°C	Th 20°C --Th 20°C	Th 20-16°C à Th 20°C	Th 20°C à Th 20-16°C
SV 5.8 -- SV 5.8			24.41%				23.53%				34.76%	
SV 5.8 à DV 2.8	8.05%	9.04%	-20.33%	30.49%	9.06%	10.25%	-17.37%	30.46%	9.76%	24.36%	-15.94%	41.12%
SV 5.8 à DV 1.36	11.55%	12.34%	-15.96%	33.14%	12.99%	13.99%	-12.47%	33.46%	13.98%	27.81%	-10.65%	43.88%
DV 2.8 -- DV 2.8			23.58%				22.52%				22.16%	
DV 2.8 à DV 1.36	3.81%	3.63%	-26.11%	26.49%	4.31%	4.17%	-23.68%	25.86%	4.68%	4.56%	-22.62%	25.81%
DV 1.36 -- DV 1.36			23.73%				22.64%				22.26%	

3. Scénarios de renouvellement des quartiers périurbains

3.1. Introduction

L'analyse du renouvellement périurbain doit permettre de comprendre les processus de rénovation les plus adaptés en fonction des quartiers. Chaque quartier étudié s'est développé de manière différente et de ce fait les propositions de rénovation peuvent varier en fonction de la morphologie du quartier. Nous développons ici les différents types de quartier et une approche de propositions des rénovations les plus adaptées à chacun de ceux-ci.

3.2. Quartier Nappe

Ce quartier assez espacé et monofonctionnel (voir rapport précédent pour davantage de détails concernant ce quartier). Différents types de rénovation pourraient y être entrepris :

- Compléter le quartier via la construction des « dents creuses »
- Densification théorique 1 : ajout de maisons 4 façades au fond des parcelles jardin
- Densification théorique 2 : ajout de maisons 4 façades à front de rue pour créer un bâti plus continu
- Densification théorique 3 : ajout et transformation de maisons afin de former un ensemble continu mitoyen (conséquences importantes sur la morphologie du quartier, processus pas toujours réalisable, mais cela permet de comparer des densités bâties différentes pour un même quartier)

L'ensemble de ces scénarios est décrit en détail ci-dessous.



Figure 11 : Schéma illustrant les densifications théoriques 1, 2 et 3. En noir le bâti existant à l'heure actuelle et en gris les nouvelles constructions théoriques (en orange, les deux maisons étudiées).

3.2.1. Rappel du cas de base

3.2.1.1. Cas de base N-S

Les résultats de demandes de chaleur (en kWh/(m²an)) issus des simulations pour le cas « Fenouil 3 » sont visibles dans le tableau ci-dessous. Il reprend les résultats des simulations TAS avec :

- le climat de Uccle – un thermostat 20-16°C
- le climat de Uccle – un thermostat 20°C constant

La deuxième partie du tableau permet de constater que les résultats obtenus dans les conditions du dimensionnement du PHPP correspondent à des demandes de chaleur respectant bien les 3 standards exploités (à savoir : le standard basse énergie (<60kWh/(m²an)), le standard très basse énergie (<30kWh/(m²an)) et le standard passif (<15kWh/(m²an)). Le chapitre du rapport précédent, « Choix des paramètres », reprend les détails concernant les paramètres des simulations.

3.2.1.2. Cas de base E-O

Deux orientations ont été analysées. L'ensemble du quartier a subi une rotation de 90°C. Les résultats des simulations sont à la page suivante.

Tableau 9 : Résultats des demandes de chaleur en kWh/ (m².an) du cas Quartier Nappe – Fenouil 3 : cas de base N-S et E-O.

Simulation : Cas de base N-S		NI - SV	NI - DV	NI T16 - SV	NI T16 - DV	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre fermée		154.67			71.02	52.08	34.14			
	Fenêtre ouverte 1h par jour	187.21	180.13	119.85	103.17	96.46	77.50	59.53	44.50	35.83	30.87
	Fenêtre ouverte 1h par jour bâtiment à l'abri du vent		171.94			88.26	69.31	51.33	36.31	27.66	22.69
	Système C - Vitesse 1							43.49	28.46	24.93	14.86
	Système C - Vitesse 3							62.64	47.61	44.19	34.19
	Système D 15% - Vitesse 1									17.03	7.25
	Système D 15% - Vitesse 3									19.78	9.79
	Fenêtre ouverte 1h par jour	251.91	240.38	157.85	134.28	121.52	94.79	69.04	49.40	38.81	32.96
	Système C - Vitesse 1							53.28	33.17		
	Système C - Vitesse 3							78.62	57.48		40.22
Thermostat 20°C	Système D 15% - Vitesse 1									19.47	8.23
	Système D 15% - Vitesse 3									22.56	11.03
Simulation : Cas de base E-O		NI - SV	NI - DV	NI T16 - SV	NI T16 - DV	3 cm	6 cm	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	200.12	184.85	132.83	116.13	101.09	82.09				
	Système C - Vitesse 1							43.74	28.69	19.93	14.97
	Système C - Vitesse 3							62.86	47.82	39.02	34.30
	Système D 15% - Vitesse 1									12.35	7.38
	Système D 15% - Vitesse 3									14.93	9.92
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	266.81	245.14	172.81	149.22	126.12	99.32				
	Système C - Vitesse 1							53.49	33.40		
	Système C - Vitesse 3							78.74	57.59		
	Système D 15% - Vitesse 1									14.20	8.36
										17.06	11.15

3.2.2. Les dents creuses

La première étape est de compléter le quartier via la construction des « dents creuses », c'est-à-dire les parcelles qui ne sont pas encore occupées. Ces nouvelles constructions se font dans l'esprit du quartier. Le tissu se voit complété et permet d'éviter des extensions ailleurs et la construction de nouveaux quartiers périurbains.

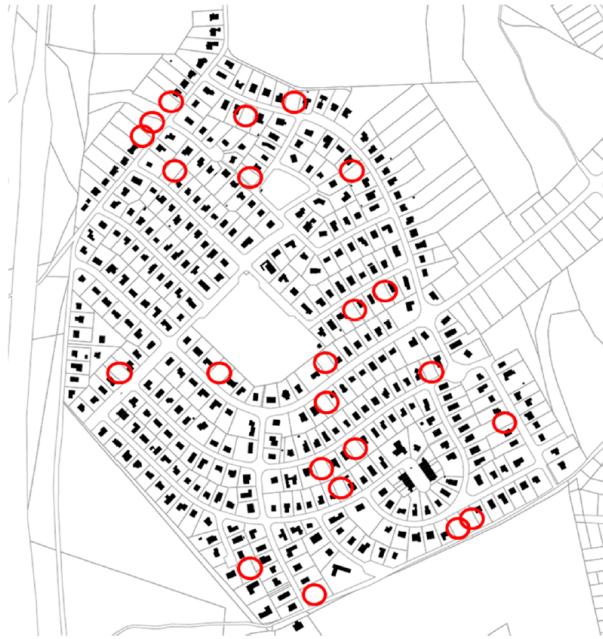


Figure 12 : Illustration schématique des différentes « Dents creuses » du quartier Nappe

3.2.3. Densification théorique 1 (DTh1)

La première densification proposée est celle du bâti existant par d'autres maisons 4 façades au fond du jardin (respect de « l'esprit 4 façades »). Le quartier est orienté de deux manières : N-S puis une rotation de 90°C le positionne en E-O. Le tableau ci-dessous reprend les résultats de cette rénovation. Comme il s'agit de nouveaux bâtiments, les bâtiments ont été simulés pour le standard actuel (PEB), le basse énergie (BE), le très basse énergie (TBE) et le standard passif (PASSIF).

Tableau 10 : Résultats de la densification théorique 1 : ajout de maisons 4 façades au fond des parcelles

Densification théorique 1 - N-S		PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Système C - Vitesse 1	43.52	28.48	19.75	14.87
	Système C - Vitesse 3	62.67	47.64	38.87	34.21
	Système D 15% - Vitesse 1			12.14	7.26
	Système D 15% - Vitesse 3			14.73	9.81
Thermostat 20°C	Système C - Vitesse 1	53.31	33.19		
	Système C - Vitesse 3	78.65	57.51		
	Système D 15% - Vitesse 1			13.99	8.24
	Système D 15% - Vitesse 3			16.87	11.04
Densification théorique 1 - E-O		PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Système C - Vitesse 1	43.75	28.70	19.94	14.98
	Système C - Vitesse 3	62.87	47.83	39.03	34.30
	Système D 15% - Vitesse 1			12.36	7.39
	Système D 15% - Vitesse 3			14.93	9.93
Thermostat 20°C	Système C - Vitesse 1	53.50	33.41		
	Système C - Vitesse 3	78.76	57.60		
	Système D 15% - Vitesse 1			14.21	8.37
	Système D 15% - Vitesse 3			17.07	11.16

3.2.4. Densification théorique 2 (DTh2)

La deuxième densification analysée est celle du bâti existant par d'autres maisons 4 façades à front de rue pour créer un bâti plus continu (respect de « l'esprit 4 façades »). Cela consiste en l'ajout de maison(s) entre deux maisons existantes. Il a fallu cependant respecter la distance de construction à 2 m de la limite de la parcelle soit une distance minimum de 4 m entre les maisons ce qui rend parfois la construction de maisons impossibles entre deux maisons existantes, car l'espace n'est pas assez important pour respecter ces limites (voir figure ci-dessous).

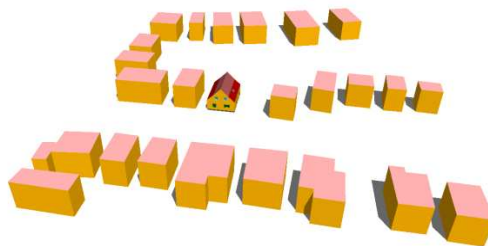


Figure 13 : Représentation 3D de TAS de la modélisation du quartier pour la densification théorique 2

De nouveau, 2 orientations sont étudiées : N-S et E-O. Comme il s'agit d'intégrer de nouveaux bâtiments, les bâtiments ont été simulés pour le standard actuel (PEB), le basse énergie (BE), le très basse énergie (TBE) et le standard passif (PASSIF). Le tableau ci-dessous reprend les résultats.

Tableau 11 : Résultats de la densification théorique 2 : ajout de maisons 4 façades à front de rue pour créer un bâti plus continu

Densification théorique 2- N-S		PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Système C - Vitesse 1	43.67	28.62	19.87	14.95
	Système C - Vitesse 3	62.81	47.78	39.00	34.29
	Système D 15% - Vitesse 1			12.24	7.32
	Système D 15% - Vitesse 3			14.84	9.88
Thermostat 20°C	Système C - Vitesse 1	50.92	33.35		
	Système C - Vitesse 3	78.88	57.71		
	Système D 15% - Vitesse 1			14.10	8.31
	Système D 15% - Vitesse 3			16.99	11.12
Densification théorique 2- E-O		PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Système C - Vitesse 1	43.90	28.84	20.08	15.07
	Système C - Vitesse 3	63.02	47.98	39.18	34.39
	Système D 15% - Vitesse 1			12.49	7.46
	Système D 15% - Vitesse 3			15.07	10.01
Thermostat 20°C	Système C - Vitesse 1	53.68	33.57		
	Système C - Vitesse 3	78.93	57.77		
	Système D 15% - Vitesse 1			14.35	8.45
	Système D 15% - Vitesse 3			17.22	11.25

3.2.5. Densification théorique 3 (DTh3)

La troisième densification étudiée est celle du bâti existant par d'autres maisons afin de former un ensemble continu mitoyen. Dans cette configuration, la densification a pour but de créer un tissu continu en « transformant » le bâti existant en mitoyen par l'ajout de bâtiment entre ceux-ci. Les 4 façades existantes sont donc adaptées et transformées en mitoyennes. De nouveau, 2 orientations sont étudiées.

3.2.5.1. Modélisation TAS et PHPP

Le bâtiment étudié a donc du subir des transformations pour être rendu mitoyen. Cela révèle la difficulté à réaliser cela dans la réalité, car dans ce cas-ci, l'orientation des pignons du bâtiment rend cette opération « impossible » dans le sens de la rue. La transformation du bâtiment Nappe en mitoyen se fera cependant quand même par les pignons mais ce nouveau bloc de trois maisons sera perpendiculaire à la route ce qui sera toléré dans le cadre de cette étude pour l'exercice (voir illustration ci-dessous). Les

fenêtres se trouvant sur les pignons sont déplacées sur les côtés latéraux afin de garder la même quantité d'ouverture des pièces et pour modifier au minimum les gains solaires. Les surfaces des vitrages sont restées les mêmes, même si parfois, les proportions (hauteur sur largeur) ont dû être légèrement modifiées pour rentrer dans le mur des pièces concernées. Au niveau des fenêtres NE :

- Celle du living → NO (« → » = « devient »)
- Celle de la Chambre 1 → NO
- Celle de la Chambre 2 → SE

Au niveau des fenêtres SO :

- Celle de la cuisine → SE
- Celle du bureau → NO
- Celle de la salle de bain → SE
- Celle de la Chambre 3 → NO

Ces transformations d'orientation des fenêtres n'affectent pas les valeurs du besoin de chaleur de chauffage annuel du PHPP pour les différents standards pour cette maison « 4 façades » à pignons aveugles. Cependant les PHPP de ces différents standards ont été refaits pour correspondre à la transformation, à la « nouvelle » maison mitoyenne.

Dans le logiciel PHPP, en rendant simplement les deux parois des pignons mitoyennes, les standards ont diminué :

- PEB de 90 kWh/(m²an) atteint 74 kWh/(m²an)
- BE de 60 kWh/(m²an) atteint 47 kWh/(m²an)
- PEB de 30 kWh/(m²an) atteint 23 kWh/(m²an)
- PEB de 15 kWh/(m²an) atteint 10 kWh/(m²an)

Les quantités d'isolant ont donc été adaptées afin de respecter les valeurs des standards. Le tableau ci-dessous reprend les épaisseurs d'isolant en cm des trois différents standards avant et après transformation.

Tableau 12 : Modifications des épaisseurs d'isolation nécessaires lors de la transformation du cas de base passant d'un « 4 façades » à un mitoyen afin de correspondre aux différents standards (modélisés avec le logiciel PHPP)

	BE 4 façades	BE mitoyen	TBE 4 façades	TBE mitoyen	SP 4 façades	SP mitoyen
Mur extérieur	10	6	16	12	25	16
Plancher	8	6	10	8	18	12
Toit	14	10	24	16	30	24

Nous pouvons remarquer que le cas BE mitoyen comporte de plus fines épaisseurs d'isolation que le cas PEB (respectant les U_{max}) mais comme son étanchéité à l'air est plus performante, ses performances restent supérieures à celle du cas PEB.

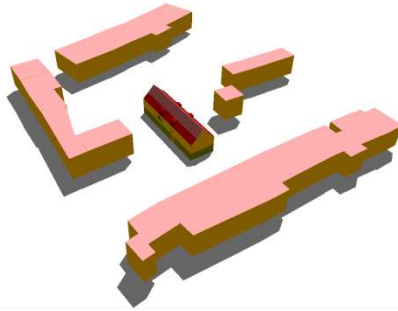


Figure 14 : Représentation 3D de TAS de la modélisation du quartier pour la densification théorique 3

3.2.5.2. Validation du Cas de base N-S « 4 façades » par rapport au cas « 4 façades » à pignons aveugles

Ce cas doit permettre de tester l'écart entre les résultats du cas de base et celui de la maison quatre façades avec les fenêtres sur d'autres parois afin de laisser les pignons aveugles dans le but d'une potentielle mitoyenneté...

Cette simulation permet d'évaluer les différences entre le cas de base étudié jusqu'à présent et le nouveau bâtiment 4 façades, après transformation, aveugle sur les pignons et où le quartier est composé de l'ancienne configuration (le front continu mitoyen de la rénovation théorique 3 n'est pas encore pris en considération). Cette comparaison est faite avec le niveau PEB. Le premier tableau reprend les différents gains solaires dans les deux cas.

Tableau 13 : Comparaison des gains solaires entre le cas de base et ce même cas de base « 4 façades » mais à pignon aveugle

	Cas de base (en kWh)	Cas de base mitoyen (en kWh)	Différence (en %)	Différence (en kWh)
Solaire	5168.08	4955.88	4,11%	212.20

La différence est proche et acceptable pour des comparaisons futures. L'analyse des consommations peut suivre avec le tableau suivant reprenant les demandes de chaleurs pour le cas PEB en kWh/(m²an).

Tableau 14 : Comparaison des demandes de chauffage entre le cas de base et ce même cas de base « 4 façades » mais à pignon aveugle pour 2 consignes de températures différentes avec 2 vitesses de débit de ventilation

		Cas de base	Cas de base mitoyen	Différence (en %)	Différence (en kWh)
Thermostat 20-16°C	Système C - Vitesse 1	43.49	45.37	-4.32%	-1.88
	Système C - Vitesse 3	62.64	64.53	-3.02%	-1.89
Thermostat 20°C	Système C - Vitesse 1	53.28	55.54	-4.24%	-2.26
	Système C - Vitesse 3	78.62	80.92	-2.93%	-2.3

Plus la vitesse de ventilation est importante (vitesse 3), moins la différence est grande. Les différences restent faibles.

3.2.5.3. Remarque pour la densification Théorique 3 orientation : E-O

La densification Théorique 3 est analysée pour 2 orientations. Le même exercice de transformation du bâtiment en bâtiment mitoyen est d'application comme pour la « Densification Théorique 3 N-S ». Dans ce cas-ci, le quartier est orienté à 90°C. La rotation du quartier de 90°C entraîne de par la nouvelle orientation, une légère augmentation des consommations au niveau du PHPP pour le standard passif. Les quantités d'isolant seront donc adaptées avec le PHPP pour cette orientation.

Tableau 15 : Modifications des épaisseurs d'isolation nécessaires lors de la transformation du cas de base passant d'un « 4 façades » à un mitoyen afin de correspondre aux différents standards pour une orientation E-O (modélisés avec le logiciel PHPP)

	BE mitoyen		TBE mitoyen		SP mitoyen	
	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O
Mur extérieur	6	Id.	12	Id.	16	18
Plancher	6	Id.	8	Id.	12	12
Toit	10	Id.	16	Id.	24	24

3.2.5.4. La densification Théorique 3 orientation N-S et E-O : les résultats

Le tableau ci-dessous reprend les résultats issus des simulations reprenant les 2 orientations étudiées : N-S et E-O. Comme il s'agit d'intégrer de nouveaux bâtiments, les bâtiments ont été simulés pour le standard actuel (PEB), le basse énergie (BE), le très basse énergie (TBE) et le standard passif (PASSIF).

Tableau 16 : Résultats de la densification théorique 3 : ajout et transformation de maisons afin de former un ensemble continu mitoyen

Densification théorique 3- N-S		PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Système C - Vitesse 1	37.25	28.48	19.82	15.34
	Système C - Vitesse 3	56.41	47.66	38.99	34.74
	Système D 15% - Vitesse 1			12.15	7.62
	Système D 15% - Vitesse 3			14.77	10.23
Thermostat 20°C	Système C - Vitesse 1	44.89	33.23		
	Système C - Vitesse 3	70.04	57.73		
	Système D 15% - Vitesse 1			13.95	8.68
	Système D 15% - Vitesse 3			16.85	11.54
Densification théorique 3- E-O		PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Système C - Vitesse 1	36.73	27.99	19.36	14.81
	Système C - Vitesse 3	55.88	47.15	38.49	34.19
	Système D 15% - Vitesse 1			11.77	7.18
	Système D 15% - Vitesse 3			14.35	9.74
Thermostat 20°C	Système C - Vitesse 1	44.25	32.67		
	Système C - Vitesse 3	69.35	57.09		
	Système D 15% - Vitesse 1			13.53	8.18
	Système D 15% - Vitesse 3			16.40	10.99

3.2.6. Conclusion des 3 densifications théoriques

Ces trois scénarios de densification peuvent avoir au premier abord un impact sur les demandes de chauffage notamment lors de la densification théorique 3 (DTh3) où la maison devient mitoyenne mais dans des quartiers plus denses, l'impact de l'ombre portée sur la maison peut entraîner moins de gains solaires et donc augmenter la demande de chauffage.

Voici donc un aperçu des :

- Impacts sur les demandes de chauffage
- Impacts de l'orientation
- Impacts sur les demandes de chauffage au m²

3.2.6.1. Impact sur les demandes de chauffage par rapport au cas de Base

L'impact des ces trois rénovations sur les demandes de chauffage par rapport au cas de base est visible uniquement sur les cas du standard actuel (PEB) puisque pour les autres standards, le niveau d'isolation a été adapté pour répondre précisément à chaque standard. Cet impact sur l'isolation, qui a été diminuée, a donc déjà été vu plus haut. La figure ci-dessous reprend les demandes de chauffage aux 4 niveaux énergétiques étudiés pour le cas de base (CB) et les trois rénovations théoriques (DTh1, Dth2 et DTh3) pour une orientation N-S avec un thermostat de 20°C et une ventilation de vitesse 3.

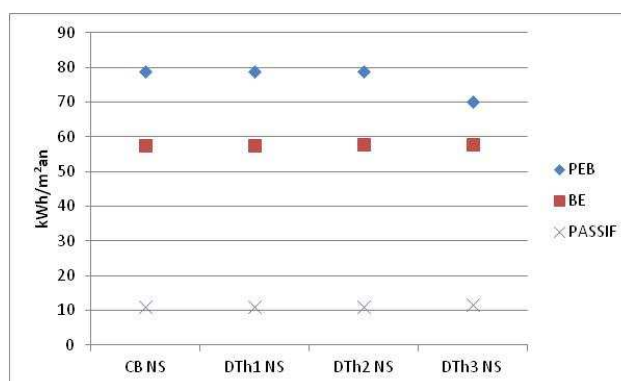


Figure 15 : Demandes de chauffage pour le cas de base (CB) et les trois rénovations théoriques (DTh1, Dth2 et DTh3) à 3 niveaux énergétiques étudiés pour une orientation N-S avec un thermostat de 20°C et une ventilation de vitesse 3.

Les demandes de chauffage sont assez constantes, peu de variations ne sont observées même pour le cas PEB (excepté pour la DTh3). La densification n'a pas impliqué de changement majeur.

L'impact de la mitoyenneté sur les demandes de chauffage est visible uniquement sur les cas du standard actuel (PEB) avec la DTh3. Le tableau ci-dessous reprend réduction sur la demande de chauffe (en %) et différence en (kWh/m²an) entre le cas de base au standard actuel et les 3 densifications théoriques. Les colonnes 3 et 6 de résultats montrant le cas RTh3 illustre cet impact de la mitoyenneté.

Tableau 17 : Réduction sur la demande de chauffe en % et différence en kWh/m²an pour le cas de base au standard actuel suite aux 3 densifications théoriques

Différence pour le cas au standard actuel N-S entre le cas de base et ...						
	... le cas RTh1 (Thermostat 20°C)	... le cas RTh2 (Thermostat 20°C)	... le cas RTh3 (Thermostat 20°C)*	... le cas RTh1 (Thermostat 20-16°C)	... le cas RTh2 (Thermostat 20-16°C)	... le cas RTh3 (Thermostat 20-16°C)*
Réduction sur la demande de chauffe en %	-0.04 %	-0.33%	10.91%	-0.07%	-0.41%	14.35%
Différence en kWh/m²an	-0.03	-0.26	8.58	-0.03	-0.18	6.24
Différence pour le cas au standard actuel E-O entre le cas de base et ...						
	... le cas RTh1 (Thermostat 20°C)	... le cas RTh2 (Thermostat 20°C)	... le cas RTh3 (Thermostat 20°C)*	... le cas RTh1 (Thermostat 20-16°C)	... le cas RTh2 (Thermostat 20-16°C)	... le cas RTh3 (Thermostat 20-16°C)*
Réduction sur la demande de chauffe en %	-0.03%	-0.24%	11.93%	-0.02%	-0.37%	16.03%
Différence en kWh/m²an	-0.02	-0.19	9.39	-0.01	-0.16	7.01

* Notons qu'en tenant compte du 2^{ème} tableau du point « Validation du Cas de base N-S », on peut s'attendre à une réduction plus importante

3.2.6.2. Impact de l'orientation

Deux orientations ont été testées. Cela n'a pas suscité d'impact particulier et/ou majeur. Le tableau ci-dessous reprend les réductions et les différences entre les orientations entre N-S et E-O sur les demandes de chauffage pour les différents scénarios (thermostat de 20°C). En effet ce bâtiment n'a pas été conçu bioclimatiquement. Cela confirme l'étude faite dans le rapport précédent sur le faible impact de l'orientation dans de tels cas

Tableau 18 : Réductions et différences sur les demandes de chauffage pour les différents scénarios en fonction de l'orientation (entre N-S et E-O)

		PEB	BE	TBE	SP
DTh1	Réduction sur la demande de chauffe en %	-0.14%	-0.16%	-1.19%	-1.09%
	Différence en kWh/m²an	-0.11	-0.09	-0.2	-0.12
DTh2	Réduction sur la demande de chauffe en %	-0.06%	-0.10%	-1.35%	-1.17%
	Différence en kWh/m²an	-0.05	-0.06	-0.23	-0.13
DTh3	Réduction sur la demande de chauffe en %	0.99%	1.11%	2.67%	4.77%
	Différence en kWh/m²an	0.69	0.64	0.45	0.55

3.2.6.3. Analyse des demandes de chauffage par m² de la parcelle

Le tableau ci-dessous illustre la demande de chauffage en fonction de la taille des parcelles.

Tableau 19 : Demande de chauffage (en kWh/m²an) en fonction de la taille des parcelles

Nappe		Cas de base	DTh1	DTh2	DTh2*	DTh3
Surface de la parcelle	m²	929.25	661.5	783.23	641.25	391.5
Surface de la maison au sol	m²	108	108	108	108	108
Densité de la parcelle (nb de lgt/ha)	nb de lgt/ha	10.76	15.12	12.77	15.59	25.54
Demande de chauffage pour un cas PEB	kWh/(m²an) m²= S habitée	78.62	78.65	78.88	78.88	70.04
Demande de chauffage par m² de parcelle	kWh/(m²an) m²= S parcelle	18.27	25.68	21.75	26.57	38.64
Demande de chauffage pour un cas BE	kWh/(m²an) m²= S habitée	57.48	57.51	57.71	57.71	57.73
Demande de chauffage par m² de parcelle	kWh/(m²an) m²= S parcelle	13.36	18.78	15.92	19.44	31.85
Demande de chauffage pour un cas TBE	kWh/(m²an) m²= S habitée	22.56	16.87	16.99	16.99	16.85
Demande de chauffage par m² de parcelle	kWh/(m²an) m²= S parcelle	5.24	5.51	4.69	5.72	9.30
Demande de chauffage pour un cas Passif	kWh/(m²an) m²= S habitée	11.03	11.04	11.12	11.12	11.54
Demande de chauffage par m² de parcelle	kWh/(m²an) m²= S parcelle	2.56	3.60	3.07	3.75	6.37

3.2.6.4. Remarques

Il faut remarquer que d'un point de vue juridique ces densifications théoriques entraîneraient des problèmes de droit de la propriété, etc. à moins qu'elles ne soient faites selon la volonté des voisins concernés. D'autre part, pour densifier à ce point, il faut une grande demande constructive et un tel mouvement de population n'est pas envisageable ni réellement envisagé avec le taux de croissance de la population actuellement et même avec le taux de croissance des quartiers périurbains actuellement (1% de nouveaux bâtiments par an) cependant cela illustre et permet de comparer différents quartiers en fonction de leur densité.

3.2.7. Densification du centre

Un scénario de revalorisation du carré du centre de ce quartier Nappe est illustré ci-dessous. Les bâtiments indiqués en barre sont purement indicatifs et doivent avoir une porosité qui s'adapte au quartier. Les parcellaires ne sont pas dessinés mais des dispositions pourraient laisser place à des espaces de jardins privés et/ou publics. Les bâtiments ne devront sans doute pas être aussi continus que sur les schémas suivant afin de ne pas non plus détonner dans le paysage... mais ils donnent une idée des zones constructibles pour cette hypothèse de travail.

Les logements peuvent être développés selon d'autres schémas tels que des immeubles (bas) à appartement,... ce qui correspond assez bien à la demande actuelle (Le fait de développer le centre peut permettre d'unifier le quartier et d'y créer ou de renforcer une sorte de dynamique via la création de centre d'espace public ou essayer d'introduire une certaine mixité.)



Figure 16 : Revalorisation du centre : Schéma 2

3.2.7.1. Modélisation

Trois immeubles à appartements de 3 niveaux ont été modélisés dans TAS et simulés. Ces immeubles sont situés dans l'espace central du quartier nappe. Ils sont de 65 m² et varient par leurs proportions longueur sur largeur. La Figure ci-dessous illustre la configuration de ces immeubles et présente un zoom sur l'immeuble à appartements de trois niveaux étudié. Il ne faut pas considérer la barre de logements comme telle, mais il s'agit d'une simplification pour les simulations

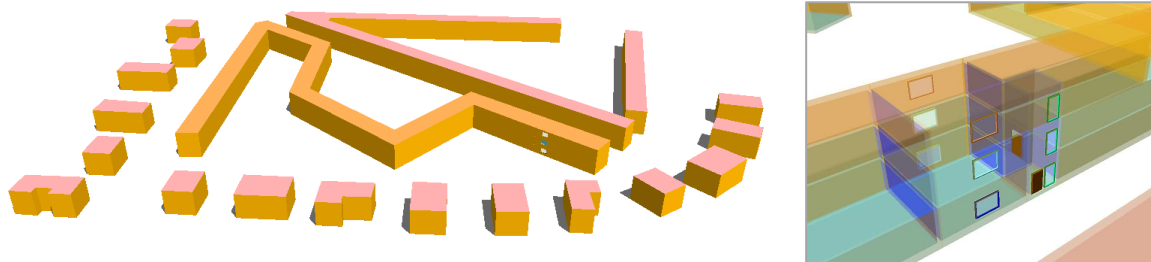


Figure 17 : Illustration de la modélisation de la densification du centre du quartier Nappe par des immeubles de logements et zoom sur un immeuble à appartement. (Les barres de logements sont des simplifications pour les simulations. L'idée développée est l'intégration d'un immeuble de 3 niveaux d'appartements)

Le premier immeuble à appartements est un appartement de 8 m sur 8 m. Les ouvertures sont de 15% de la surface des murs (pourcentage de surface vitrée recommandé). Le deuxième immeuble à appartements est de 10.3 m en façade sur 6.3 m et afin de garder le même débit d'air entrant et sortant lors de l'ouverture des fenêtres, la surface des ouvertures reste identique et devient dans ce cas-ci de 11.739%. Le troisième immeuble à appartements est de 6.3 m en façade sur 10.3 m et afin de garder le même débit d'air entrant et sortant lors de l'ouverture des fenêtres, les pourcentages des ouvertures devient de 19.187%. La surface des ouvertures reste donc identique pour les trois immeubles à appartements. La hauteur des fenêtres restant fixe et identique, c'est la largeur qui varie. Cela assurera en plus une quantité identique de gains solaires. La figure ci-dessous représente les trois appartements.

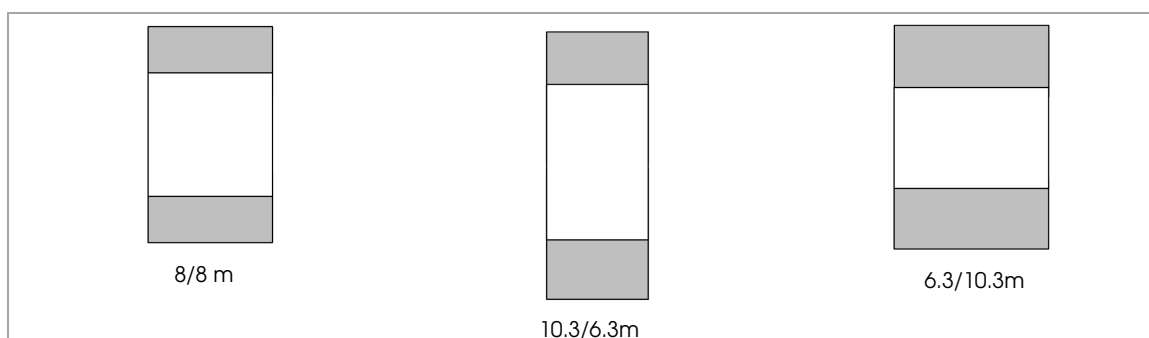


Figure 18 : Proportion schématique des appartements

Les PHPP ont été calculés pour chacun des immeubles à appartements, en fonction des 2 niveaux les plus déperditifs (le rez-de-chaussée et le 2^{ème} étage) afin qu'une seule et même épaisseur d'isolant soit appliquée sur les parois de tout l'immeuble, tout en permettant à chaque niveau d'atteindre les différents standards. Comme il s'agit d'une densification, les niveaux énergétiques étudiés sont le standard actuel (PEB), le basse énergie (BE), le très basse énergie (TBE) et le standard passif (PASSIF).

3.2.7.2. Les résultats

Les simulations ont été faites pour chacun des 3 étages des 3 immeubles en considérant que tous les murs voisins à un autre, habité, n'avaient pas de déperditions thermiques (donc pas de déperdition entre par exemple le plafond du 1^{er} étage et le sol du 2^{ème}). L'analyse se base sur la demande moyenne de l'immeuble c'est-à-dire, sur la moyenne des demandes de chauffage entre les 3 niveaux. L'ensemble de ces résultats est disponible en annexes : les demandes de chauffages des 3 immeubles à appartements, pour chacun des 3 niveaux et la moyenne de l'immeuble est également présentée.

Le graphe ci-dessous reprend les demandes moyennes de chauffage de ces trois immeubles à appartements pour les 4 standards présentés avec un thermostat de 20°C. On retrouve pour les ventilations :

- PEB : Fenêtre ouverte 1h par jour
- BE : Système C - Vitesse 1
- TBE & PASSIF : Système D 15% - Vitesse 1

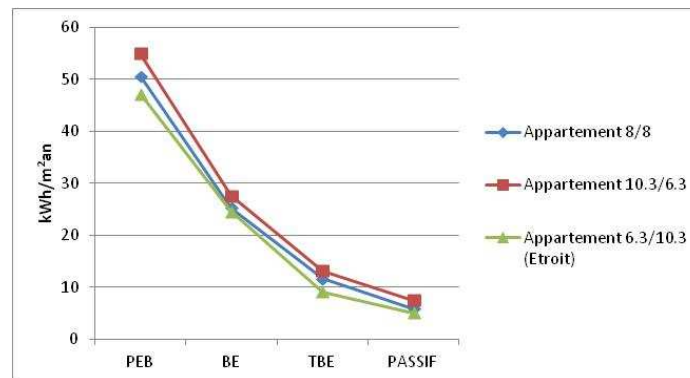


Figure 19 : Demandes moyennes de chauffage en kWh/m².an de trois immeubles à appartements (thermostat de 20°C, ventilations : PEB système A ; BE, Système C - Vitesse 1 ; TBE & PASSIF : Système D 15% - Vitesse 1

Le graphe ci-dessous est identique au précédent si ce n'est que les systèmes de ventilation sont choisis différemment.

- PEB & BE : Système C - Vitesse 1
- TBE & PASSIF : Système D 15% - Vitesse 3

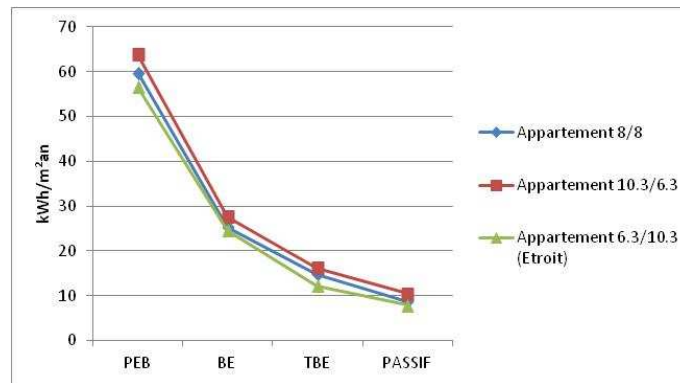


Figure 20 : Demandes moyennes de chauffage en kWh/m²an de trois immeubles à appartements (thermostat de 20°C, ventilations : PEB & BE, Système C - Vitesse 1 ; TBE & PASSIF : Système D 15% - Vitesse 3)

Le cas le plus performant est le 6.3 m en façade sur 10.3 m ce qui est logique vu la plus grande surface de mitoyenneté. Le tableau ci-dessous reprend les réductions de demande de chauffage en % et les différences en kWh/m²an entre les deux cas les moins performants (le 10.3 m en façade sur 6.3 m et le 8 m sur 8 m) et ce cas le plus performant 6.3 m en façade sur 10.3 m. Attention ce bâtiment de 6.3 m en façade sur 10.3 m étant plus profond et donc plus sombre est susceptible de consommer plus d'électricité en éclairage.

Tableau 20 : Réductions de demande de chauffage en % et différences en kWh/m²an entre les deux immeubles les moins performants (le 10.3 m en façade sur 6.3 m et le 8 m sur 8 m) et l'immeuble le plus performant 6.3 m en façade sur 10.3 m

Comparaison entre 10.3/6.3 et 6.3/10.3		Différence en kWh/(m²an)				Réduction sur la demande en %			
Moyenne pour l'immeuble		PEB	BE	TBE	PASSIF	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	6.49				14.20%	-	-	-
	Système C - Vitesse 1	6.40	2.48	3.37	2.24	12.32%	10.27%	17.10%	15.05%
	Système C - Vitesse 3	6.41	2.29	5.61	2.01	8.78%	5.14%	14.06%	5.69%
	Système D 15% - Vitesse 1			3.54	2.20	-	-	30.17%	32.29%
	Système D 15% - Vitesse 3			3.49	2.31	-	-	24.14%	24.22%
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	7.69	0.00			14.00%	-	-	-
	Système C - Vitesse 1	7.36	2.94			11.53%	10.66%	-	-
	Système C - Vitesse 3	6.77	1.92			7.39%	3.67%	-	-
	Système D 15% - Vitesse 1			4.06	2.44	-	-	30.80%	32.52%
	Système D 15% - Vitesse 3			4.04	2.56	-	-	24.95%	24.61%
Comparaison entre 8/8 et 6.3/10.3		Différence en kWh/(m²an)				Différence en %			
Moyenne pour l'immeuble		PEB	BE	TBE	PASSIF	PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	2.86				6.81%	-	-	-
	Système C - Vitesse 1	2.81	0.53	2.13	0.70	5.81%	2.40%	11.53%	5.25%
	Système C - Vitesse 3	2.82	0.43	4.53	0.58	4.06%	1.00%	11.67%	1.70%
	Système D 15% - Vitesse 1			2.16	0.71	-	-	20.89%	13.31%
	Système D 15% - Vitesse 3			2.17	0.75	-	-	16.53%	9.41%
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	3.43				6.76%	-	-	-
	Système C - Vitesse 1	3.26	0.63			5.46%	2.49%	-	-
	Système C - Vitesse 3	2.96	0.04			3.37%	0.08%	-	-
	Système D 15% - Vitesse 1			2.48	0.80	-	-	21.38%	13.59%
	Système D 15% - Vitesse 3			2.52	0.83	-	-	17.18%	9.54%

Les réductions de consommation sont d'autant plus intéressantes que l'immeuble est bien isolé mais c'est proportionnel, car le nombre de kWh/m²an économisé est plus important moins l'isolation est performante.

3.3. Quartier Ruban

Le quartier Ruban peut être considéré comme l'un des quartiers le plus destructeurs en terme de paysage... Cependant, la première étape pourrait être de compléter le quartier via la construction des « dents creuses » pour terminer d'exploiter les infrastructures existantes mais en veillant à ne pas étendre cet étalement sur les bords.

Un tel quartier devrait donc arrêter son extension le long de ses axes inter-villages. Ici il s'agit d'arrêter l'extension des habitations rue des Rappes et du 7ème RIC pour se concentrer sur l'extension dans et autour des villages. L'extension au sein même du village est rendue difficile par la présence de prairies. Il s'agit évidemment souvent de longues parcelles venant d'une division agraire. Remarquons qu'elles ont un rôle important dans le paysage, car elles structurent les abords des villages et assurent une transition entre ceux-

ci et les champs et/ou forêts. Il est essentiel de définir les zones d'extension du village en dehors des axes principaux de circulations comme c'est le cas ici. Les villages rues rendent l'extension par l'arrière plus périlleuse ce qui explique l'extension qui s'est produite jusqu'ici entre les deux villages. Le fait de continuer à développer le village pourrait être l'occasion de créer une nouvelle dynamique en son sein.

La rénovation de ce quartier revoit à celle des villages qui l'entourent. Cela renvoie à l'analyse de la rénovation du cas Mixte.

3.4. Quartier Semi-mitoyen

Ce quartier présente une densité déjà plus importante en comparaison aux deux quartiers traités précédemment. La composition du quartier est proche de celle d'un village. Cependant, certains bâtiments ont tendance à être implantés comme des objets. A côté de la Cité Chavée et du Foyer Fontainois, se trouvent des immeubles à appartements dont l'implantation dans le quartier pourrait être remise en question. Voir figure ci-dessous.

La première étape de densification consiste à remplir les « dents creuses ».

La deuxième, consiste en une densification du tissu existant. Les carrés blancs de l'illustration ci-dessous représentent les zones potentiellement constructibles. Elles n'impliquent aucune forme ni continuité de bâtis (car une certaine porosité reste importante)... Les parcellaires ne sont pas dessinés mais les dispositions pourraient laisser place à des espaces de jardins privés et/ou publics.

Le plan ci-dessous reprend un plan de rénovation exemplatoire et schématique du quartier et envisage :

- la fermeture du U de la cité Chavée par des immeubles bas à appartement R+2, à front de rue
- la destruction des 2 immeubles derrière le Foyer Fontainois afin de recréer un îlot complet possédant la même densité d'habitation que ces immeubles mais en étant mieux intégrée dans le quartier et se trouvant à front de rue.

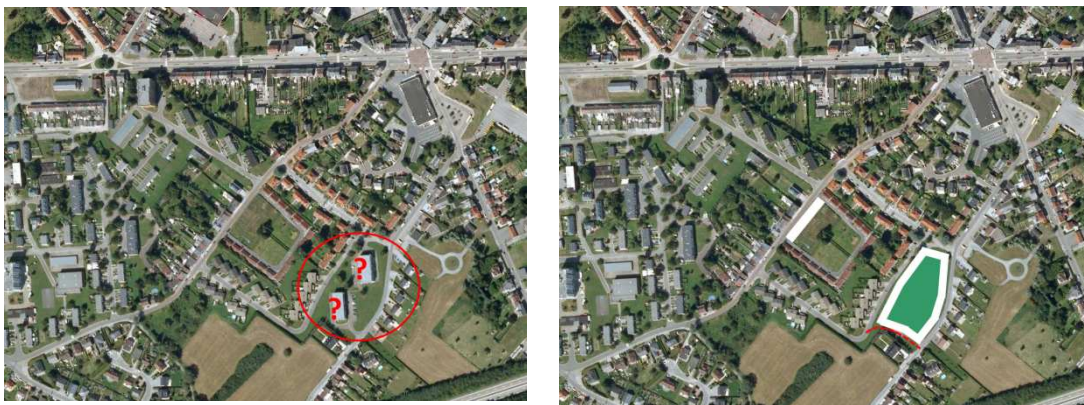


Figure 21 : Remise en questions du quartier Semi-Mitoyen

3.5. Quartier Mixte

Le quartier Mixte présente une grande mixité tant en termes de formes que de fonctions (voir précédents rapports pour plus de descriptions). Ce quartier qui s'est étendu forme un triangle dont le centre est composé de prairies. De nouveau, différents types de rénovation de quartier pourraient y être entrepris :

- Compléter le quartier via la construction des « dents creuses »
- Densification du centre pour éviter les extensions le long de routes
- ...

3.5.1. Les dents creuses

Avant toute extension du quartier, il faut remplir les « dents creuses » de nouvelles maisons et/ou d'immeubles bas à appartements performants afin de compléter le tissu et pour autant que celles-ci ne représentent pas une extension sur des routes hors de la zone définie comme étant « villageoise ». Il n'est pas toujours évident de déterminer ce qui est ou non une dent creuse ou une extension. Cela dépendra du plan de densification ou de développement du village. L'image ci-dessous (deuxième photos ci-dessous) présente des « dents creuses » qui sont entre la zone villageoise et à la limite de l'extension.

3.5.2. Densification du centre du village : Eviter les extensions les longs des routes pour garder des centres « villageois »

Comme pour le quartier Nappe, le centre du triangle pourrait faire l'objet d'une densification ou valorisation permettant d'éviter de continuer l'extension le long des routes. La mixité du quartier pourrait être revalorisée et complétée. Le fait de développer le centre permettrait de réunifier le quartier et de le restructurer. Il faut tout d'abord redéfinir le centre afin de se concentrer sur son développement. La première des trois images ci-dessous situe le centre de Rotheux autour des principaux petits commerces, de l'école, de l'église,...

Un scénario de revalorisation du triangle central et de ses abords est présenté (voir la troisième figure ci-dessous). Les bâtiments indiqués en barre sont purement indicatifs et doivent avoir une porosité qui s'adapte au quartier. Les parcellaires ne sont pas dessinés mais des dispositions pourraient laisser place à des espaces de jardins privés et/ou publics. Les bâtiments ne devront pas être aussi continus que sur les schémas suivant afin de ne pas non plus détonner dans le paysage. Leur densité doit s'adapter dans une certaine mesure au lieu d'implantation. Cette analyse d'immeubles bas à appartement, comme celui indiqué par la flèche jaune, renvoie à l'étude présentée ci-dessus pour le quartier Nappe.



Figure 22 : Illustration d'une réflexion sur la rénovation du quartier Mixte avec la revalorisation du centre du village, le remplissage des « dents creuses » et la valorisation du centre du quartier afin d'éviter les extensions le long des routes

3.5.2.1. Analyse des 2 rénovations réalisées pour le cas d'étude de l'Ancienne ferme de Chaumont-Gistoux

A la rénovation d'un quartier, peut s'ajouter la rénovation d'habitations existantes. Cette étude va s'intéresser à la rénovation d'une ancienne ferme à Chaumont-Gistoux de 1916 (et rénover réellement en 2005). Pour plus d'informations sur la réelle rénovation de cette ferme, la fiche LEHR « Ferme, Bousval » de Branders (Branders A., 2009) présente cette rénovation ainsi que d'autres disponibles dans la partie « Projets exemplaires » du site web.

L'étude se concentrera sur le corps de logis de cette ancienne ferme d'abord entouré partiellement de granges, considérées comme vide et non habitées, puis, suite à la rénovation, des bâtiments performants sont construits et les granges sont rénovées de manière à devenir habitables. Le logis devient donc totalement mitoyen. Les 2 illustrations de la modélisation en TAS montre l'avant et l'après.

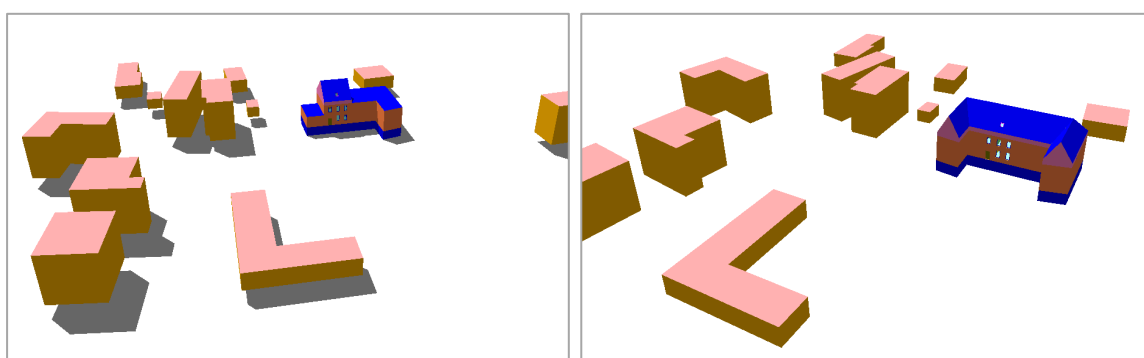


Figure 23 : A gauche, avant rénovation, le logis de la ferme de Bousval partiellement entouré de granges. A droite, après rénovation, le logis devient mitoyen et de nouveaux bâtiments performants ont été construits autour, les granges ont été rénovées.

Le premier cas avait été traité dans le rapport précédent mais avec un côté considéré comme « sans déperditions thermiques » ce qui en faisait un « 3 façades ». Cette fois-ci, il est question de comparer un cas avec des mitoyens/granges « vides » (ce qui revient à un « 4 façades ») et ce même cas devenu mitoyen, (soit un « 2 façades »). Notons que l'ajout d'une partie du nouveau bâtiment est susceptible d'apporter davantage d'ombre au corps de logis et que le mitoyen côté SE couvre ici totalement la surface de la maison ce qui ne correspond pas tout à fait à la rénovation mais permet de traiter un cas plus « classique ».

L'ensemble des résultats des demandes de chaleur de ces deux cas, à plusieurs niveaux énergétiques différents, est disponible en Annexes. Notons que pour les cas BE, TBE et PASSIF, les PHPP associés à ces standards, qui ont permis leur modélisation, sont adaptés « personnellement » à chacun des 2 cas. Par conséquent, les épaisseurs d'isolant sont différentes entre les deux cas à un même niveau puisqu'on part du principe que le logis est, soit rénové à un de ces standards tout en restant « 4 façades » (premier cas), soit que la rénovation du logis fait partie du projet de rénovation de l'ensemble de la ferme (ce qui a été le cas en réalité et c'est le deuxième cas). Cela induit des PHPP différents adaptés à chacune des deux situations pour chaque standard.

Le tableau ci-dessous reprend les différences et les réductions sur les demandes de chauffage entre le cas de base et le cas rénové et ce pour différents niveaux énergétiques.

Tableau 21 : Différences (kWh/(m²an)) et les réductions (en %) sur les demandes de chauffage entre le cas de base et le cas rénové et ce pour différents niveaux énergétiques et pour différents systèmes de ventilation

			NI	3cm	6cm	PEB	BE	TBE	SP
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	Différence en kWh/(m²an)	49.16	24.21	16.30				
		Réduction sur la demande en %	22.94%	18.20%	14.96%				
	Système C - Vitesse 1	Différence en kWh/(m²an)				13.38	-0.58		
		Réduction sur la demande en %				23.37%	-2.17%		
	Système C - Vitesse 3	Différence en kWh/(m²an)				13.45	-0.57		
		Réduction sur la demande en %				16.77%	-1.16%		
	Système D 15% - Vitesse 1	Différence en kWh/(m²an)						0.01	0.46
		Réduction sur la demande en %						0.09%	8.42%
	Système D 15% - Vitesse 3	Différence en kWh/(m²an)						0.03	0.53
		Réduction sur la demande en %						0.22%	6.48%
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	Différence en kWh/(m²an)	70.78	34.66	22.96				
		Réduction sur la demande en %	25.08%	20.83%	17.38%				
	Système C - Vitesse 1	Différence en kWh/(m²an)				18.14	-0.60		
		Réduction sur la demande en %				25.68%	-1.94%		
	Système C - Vitesse 3	Différence en kWh/(m²an)				19.10	-0.61		
		Réduction sur la demande en %				18.92%	-1.05%		
	Système D 15% - Vitesse 1	Différence en kWh/(m²an)						0.02	0.48
		Réduction sur la demande en %						0.23%	7.76%
	Système D 15% - Vitesse 3	Différence en kWh/(m²an)						0.04	0.56
		Réduction sur la demande en %						0.32%	6.11%

3.6. Les besoins énergétiques et les disponibilités solaires dans le quartier périurbain Nappe : étude de l'influence de la densité dans ce quartier

3.6.1. Introduction

Cette partie va étudier l'influence d'une augmentation de la densité bâtie, dans le quartier périurbain Nappe. L'idée est de favoriser une densité bâtie plus élevée dans les quartiers existants plutôt que de construire de nouveaux quartiers à faible densité sur des zones non construites. Les impacts de quatre scénarios de renouvellement portant sur la densité sont évalués, à l'échelle du quartier, pour trois paramètres:

- le potentiel d'économie d'énergie pour le chauffage des maisons,
- l'énergie solaire reçue par les façades et les toitures, puisque les types de logements pavillonnaires dispersés sont connus pour être ceux qui reçoivent les plus de gains solaires et
- les surfaces potentielles de terrains sauvés.

L'influence de l'isolation, des conditions climatiques et de l'orientation est abordée. L'étude de cas choisie est un exemple typique de quartier périurbain.

Rappelons qu'en Belgique, 52% du parc immobilier est composé de maisons « 4façades » et « 3 façades », principalement situées dans des quartiers périurbains de faible densité (variant de cinq à douze logements par hectare). Pour un même niveau d'isolation, les maisons « 4 façades » ont besoin de plus d'énergie pour le chauffage que les maisons mitoyennes. De plus, les développements périurbains ont créé davantage une séparation spatiale des activités, ce qui se traduit par une augmentation des distances de déplacement et la consommation d'énergie des transports (*da Silva, A., et al., 1999*).

L'idée est donc de promouvoir une densité plus élevée dans les quartiers existants comme une solution pour éviter ou diminuer la construction de nouveaux quartiers sur des zones non bâties, ce qui augmente l'étalement urbain et ses effets indésirables sur le climat, les paysages et la pollution.

3.6.2. Les méthodes

Une méthode a été développée pour évaluer les besoins en énergie dans les quartiers périurbains. Elle aborde les influences des bâtiments « 4 façades » à l'échelle du quartier, parce que, même si le contexte urbain a été souvent négligé dans les analyses énergétiques des bâtiments jusqu'à présent, les décisions prises au niveau du quartier ont des conséquences importantes sur la performance énergétique des bâtiments et sur les habitudes de transport des habitants (Popovici, E., Peuportier, B., 2004). De plus, le tissu urbain détermine la configuration spatiale des bâtiments et de là, l'énergie solaire reçue par l'enveloppe. Une typologie de maisons unifamiliales (« 4 façades »), « 3 façades » et mitoyenne a été établie pour classer le parc immobilier résidentiel périurbain. Cette approche typologique est basée, la surface de la maison en mètres carrés (m²), le

nombre de niveaux, la date de construction, etc. Cinq catégories d'âge (pré-1950, 1951-1980, 1981-1995, 1996-2010, après-2010) ont été considérées en se basant sur l'évolution des politiques régionales en matière de performance énergétique des bâtiments et de l'évolution des techniques de construction. Les catégories d'âge permettent d'approximer les conductivités thermiques moyennes des différents parois extérieures des bâtiments (Voir tableau ci-dessous).

Tableau 22 : Principales caractéristiques des parois extérieures et types de vitrage en fonction de la catégorie d'âge

	Pré-1950	1951-1980	1981-1995	1996-2010	Post-2010
Composition des murs	Blocs de béton	Blocs de béton	Blocs de béton + 3cm PUR	Blocs de béton + 6cm PUR	Blocs de béton + 8cm PUR
Composition des toits	Tuiles en argile	Tuiles en argile	Tuiles en argile + 8cm laine minérale	Tuiles en argile + 10cm laine minérale	Tuiles en argile + 13cm laine minérale
Composition des dalles de sol	Dalle de béton de 14cm	Dalle de béton de 14cm	Dalle de béton de 14cm + 3cm PUR	Dalle de béton de 14cm + 6cm PUR	Dalle de béton de 14cm + 9cm PUR
Types de vitrages	Simple vitrage	Double vitrage	Double vitrage	Double vitrage	Double vitrage
U des fenêtres	4,08W/m².K	2,96W/m².K	2,76W/m².K	2,76W/m².K	1,8W/m².K

L'analyse des consommations énergétiques pour le chauffage des maisons et l'évaluation de l'énergie solaire sur les façades et les toitures ont été réalisées avec TAS. Les consignes intérieures étaient dépendante du thermostat 20-16°C (voir plus haut).

Les besoins en énergie pour le chauffage à l'échelle du quartier ont été calculés en additionnant les résultats de l'analyse de la consommation d'énergie pour chaque type de maison en fonction de leur répartition dans le quartier (*da Silva, A., et al., 1999*). Ce besoin total d'énergie est ensuite divisé par la surface chauffée de l'ensemble du quartier afin de donner un paramètre, en kWh/m².an, permettant la comparaison entre des quartiers et des scénarios. Cette méthodologie a été appliquée à chaque scénario discuté ci-dessous (voir première ligne du tableau ci-dessus).

Le dernier paramètre est la surface et la longueur des réseaux économisés si la densité du quartier Nappe est augmentée ce qui évite la construction de nouvelles maisons pavillonnaires et des infrastructures sur des terrains non bâtis. La taille des parcelles (900m²) et des maisons (140 à 180 m²) utilisées dans cette évaluation sont basées sur des moyennes régionales pour les zones périurbaines et sur la structure urbaine du quartier Nappe.

3.6.3. Le cas d'étude

Le cas d'étude choisi se base sur la maison du cas Nappe, rue du Fenouil n°3 qui se situe à 6 kilomètres à l'est du centre-ville de Namur (106.000 habitants). Ce type de structure urbaine, composée maisons unifamiliales « 4 façades » construites sur de grandes parcelles, représente environ 11% du stock de logements en Région wallonne (*MRW., 2004*). Le quartier est composé de 395 maisons d'habitation. 43,5% des maisons ont été construites entre 1951 et 1980, 49,1% entre 1981 et 1995, 7,2% entre 1996 et 2010. Le quartier a une superficie de 54 hectares, parmi lesquels 2,4 hectares sont consacrés aux

espaces verts. La densité de construction du quartier (nombre de logements / (superficie totale - espaces verts)) vaut actuellement 7,6 logements par hectare (voir figure ci-dessous).



Figure 24 : Le cas d'étude choisi se base sur la maison du cas Nappe représentatif d'un typique quartier périurbain belge situé à 6 km d'un centre ville (Namur). (Vue aérienne du quartier et photo de 2 maisons du quartier)

3.6.4. Les différents scénarios étudiés

Quatre scénarios ont été développés et présentent différentes façons d'augmenter la densité du bâti dans le quartier étudié. Le premier scénario (celui des dents creuses) consiste à respecter la structure urbaine existante : des maisons pavillonnaires sont construites sur des parcelles non bâties restantes. Dans le second scénario (celui des fonds de jardins « 4 façades »), la taille des parcelles est exploitée pour construire de nouvelles maisons au fond des parcelles existantes. Dans le troisième scénario, de nouvelles maisons pavillonnaires sont construites entre les maisons existantes alors que dans le quatrième scénario, les maisons sont construites entre les maisons existantes pour former un front de bâti continu composé de maisons mitoyennes et jumelées (voir figure ci-dessous). Dans les scénarios 2 à 4, la taille des nouvelles parcelles est plus petite (environ 400 m²) et la taille des parcelles existantes est réduit. Dans le cas du dernier scénario, les fenêtres situées sur les façades latérales sont transférées sur le toit pour maintenir la même surface de fenêtres (voir plus haut). Dans les quatre scénarios, les nouvelles maisons sont supposées être construites selon les réglementations belges de la Performance Energétique des Bâtiments de 2010.

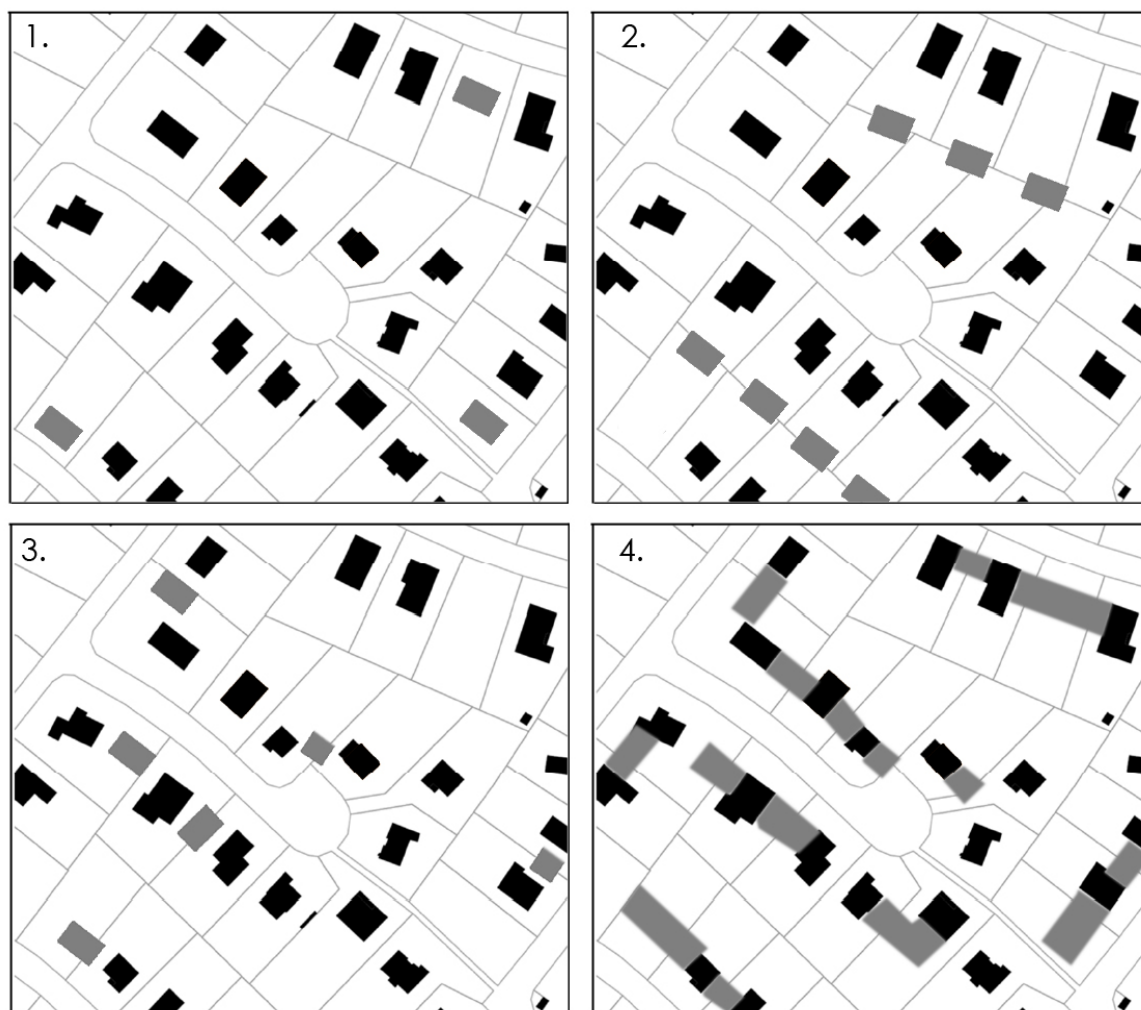


Figure 25 : Zoom sur les quatre scénarios développés pour augmenter la densité bâtie des quartiers étudiés. Les maisons existantes sont colorées en noir et les nouvelles maisons le sont en gris.

3.6.5. Les résultats obtenus : consommations énergétiques du chauffage, gains solaires et superficie de terrains économisée

La première partie de l'évaluation consiste en un inventaire de la situation actuelle de la consommation d'énergie du chauffage du quartier. Il a été calculé en suivant la méthode présentée précédemment. Ensuite, la consommation énergétique du chauffage et l'énergie économisée sont calculées pour la situation actuelle, à l'échelle du quartier, pour les quatre scénarios conçus avec une densité construite plus importante. Les gains solaires sur les façades verticales et sur les toitures sont calculés pour une maison de référence. Les nouvelles densités bâties du quartier et les estimations d'économies de surfaces de terrain et de longueurs des réseaux collectifs sont présentées (voir tableau ci-dessous).

Tableau 23 : Situation actuelle et les résultats pour les quatre scénarios.

	Situation actuelle	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Consommation moyenne d'énergie pour le chauffage (kWh/m².an)	146,9	139,4	121,3	128,0	102,2
Economie par rapport à la situation de base	/	5,2%	17,4%	12,9%	30,4%
Energie solaire reçue par façades (kWh/m².an)	398,6	398,6	398,2	394,6	382,6
Différence avec la situation actuelle	/	0%	-0,1%	-1,0%	-4,0%
Energie solaire reçue sur les toits (kWh/m².an)	1005	1005	1005	1005	1005
Densité bâtie (habitation/ha)	7,6	8,0	9,6	9,3	12,6
Surface de terrain économisée (ha)	/	2,07	9,27	8,10	23,4
Economie sur la longueur des réseaux collectifs (m)	/	184	824	720	2080

Des économies d'énergie importantes peuvent être obtenues si la densité bâtie du quartier est augmentée. Les effets positifs proviennent de la construction de nouvelles maisons bien isolées, ce qui fait diminuer la consommation d'énergie moyenne, à l'échelle du quartier, même si les maisons sont encore pavillonnaires (ex: -17,4% dans le scénario 2). Comme la densité dans la situation actuelle est assez basse, en ajoutant de nouvelles maisons entre celles qui existent déjà, cela permet de réduire la consommation énergétique sans trop réduire les gains solaires sur les façades et les toits (voir figure ci-dessous). Notons que la végétation n'a pas été prise en compte. Le scénario 4 combine l'effet positif d'une augmentation de la densité bâtie et d'une répartition plus compacte des maisons (les maisons pavillonnaires nécessitent plus d'énergie pour le chauffage que les maisons mitoyennes). Les installations photovoltaïques et les capteurs solaires thermiques montés sur les toits pourraient être utilisés en fonction des valeurs de références proposées par Compagnon (Compagnon, R, 2004) et qui sont couramment utilisées dans la pratique.

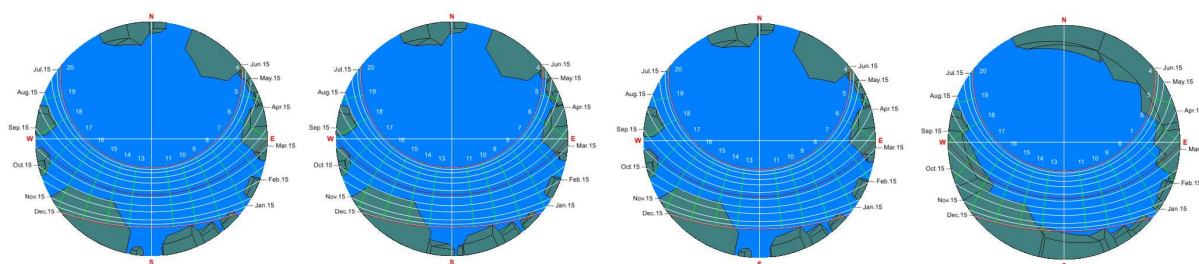


Figure 26 : Solar paths et obstructions engendrées par chaque scénario, au milieu du quartier, sur le sol, le 15 Juin (logiciel Townscope).

En plus des économies d'énergie potentielles, l'augmentation de la densité bâtie du quartier permet avant tout de protéger de manière significative les terrains non bâtis d'une urbanisation et de limiter le besoin de nouvelles infrastructures et de nouveaux réseaux. Cependant, même dans le scénario 4, la densité bâtie reste trop faible (12,6 habitations par hectare) pour permettre d'organiser un service de bus plus efficace.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS INTERMEDIAIRES

Trois analyses de sensibilité ont été réalisées. Elles concernent l'isolation, les conditions climatiques et l'orientation. L'isolation offre un grand potentiel d'économies d'énergie parce que le parc immobilier existant est peu ou pas isolé. Si toutes les maisons existantes du quartier sont rénovées pour atteindre le standard actuel pour les nouvelles constructions (en suivant la PEB) et si les nouvelles maisons construites dans le quartier atteignaient le standard maison passive ($< 15 \text{ kWh/m}^2\text{.an}$), qui devrait constituer le standard pour les nouvelles constructions dans les années 2020, les économies d'énergie, en comparaison avec la situation actuelle, pourrait atteindre 57,4% ($62,6 \text{ kWh/m}^2\text{.an}$ au lieu de $146,9 \text{ kWh/m}^2\text{.an}$). Dans ce cas, l'influence de la densité pourrait atteindre 6,6%, 18,6%, 16,4% et 37,5%, pour les quatre scénarios décrits ci-dessus.

En ce qui concerne le climat, deux villes représentatives ont été sélectionnées Bruxelles et Saint-Hubert pour tester la sensibilité des résultats précédents en fonction des conditions climatiques. Les demandes de chauffage sont plus élevées à Saint-Hubert (puisque le climat y est plus froid), mais il a été démontré que les quatre scénarios testés ont réagi de la même manière aux variations des conditions climatiques. En termes d'orientation, il s'est avéré que la consommation d'énergie dans les bâtiments ne varie que de façon marginale (moins de 4%) en fonction de l'orientation du quartier et de l'effet de l'énergie solaire sur les façades verticales et sur les toits, principalement en raison d'un manque d'optimisation de l'accessibilité solaire dans les maisons existantes et les quartiers (pas de constructions bioclimatiques).

Cette analyse met en évidence que, pour ce quartier périurbain étudié, le Nappe, les avantages d'une augmentation de la densité bâtie sont importants en termes de consommation d'énergie et de la surface de terrain sauvé. Ces résultats sont importants vu les nombreux quartiers périurbains similaires se trouvant en Belgique et à l'étranger. Des scénarios portant sur la rénovation par rapport à la démolition et à la reconstruction devraient maintenant être comparés et évalués afin de donner une image plus complète de la consommation énergétique dans les quartiers périurbains existants et favoriser l'efficacité énergétique grâce à des stratégies de renouvellement efficaces.

4. Analyse du parc de logements en Région wallonne

4.1. Introduction

La Belgique se trouve actuellement dans un tournant stratégique concernant l'utilisation rationnelle de l'énergie avec l'introduction de la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) qui va l'obliger à remédier à certains de ses manques en la matière. En Région wallonne, 70% du parc date d'avant la première crise pétrolière et 45% date d'avant la Seconde Guerre mondiale. Ce parc de logements est donc assez vieux et par conséquent très peu performant énergétiquement. Les bilans énergétiques mettent en avant l'importance du chauffage occupant environ 75% de la facture énergétique des logements. L'avenir énergétique du stock bâti est donc à suivre de près afin d'inciter aux rénovations énergétiques performantes. Ce chapitre propose une approche qui envisage différents scénarios de rénovation impliquant des mesures locales et des mesures globales. Différents scénarios d'évolution du parc sont également abordés sur une période allant de 2011 à 2051.

4.2. Le parc de logements

4.2.1. Etat des lieux du bâti wallon

La Région wallonne compte environ 1261310 logements et ce nombre de logements croît à raison de 1% par an. La répartition de ces logements en fonction de leur type est illustrée par la Figure 1.

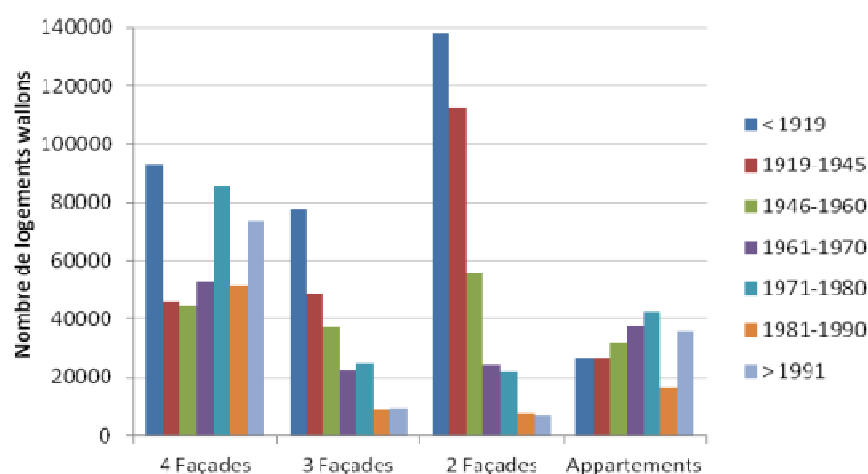


Figure 27 : Nombre de logements par type de logement, croisement entre le type et l'époque (Kints C., 2008)

Les maisons 4 façades sont les plus répandues en Région wallonne (447392) suivie par les 2 façades (367326) puis par les 3 façades (228804) et enfin par les appartements (217788). L'évolution des constructions d'un type plutôt que d'un autre a varié au cours des différentes périodes représentées. La figure ci-dessus et la suivante illustrent cette évolution où l'on peut constater le grand intérêt pour les maisons 2 façades au début du 20^{ème} siècle qui va diminuer tout comme le nombre global de nouvelles constructions. Entre 1971-1980, une hausse se fait ressentir notamment avec la construction de maisons 4 façades (Figure 2). Cela révèle la distinction entre l'agglomération et la banlieue, car les logements situés en agglomération sont en moyenne plus anciens suite au développement concentrique des pôles urbains. Et c'est à partir des années 60, que les ménages vont commencer à s'installer à l'extérieur des villes sans s'en éloigner complètement dans un premier temps. Cet étalement urbain est intimement lié au développement des moyens de communication (Kints C., 2008).

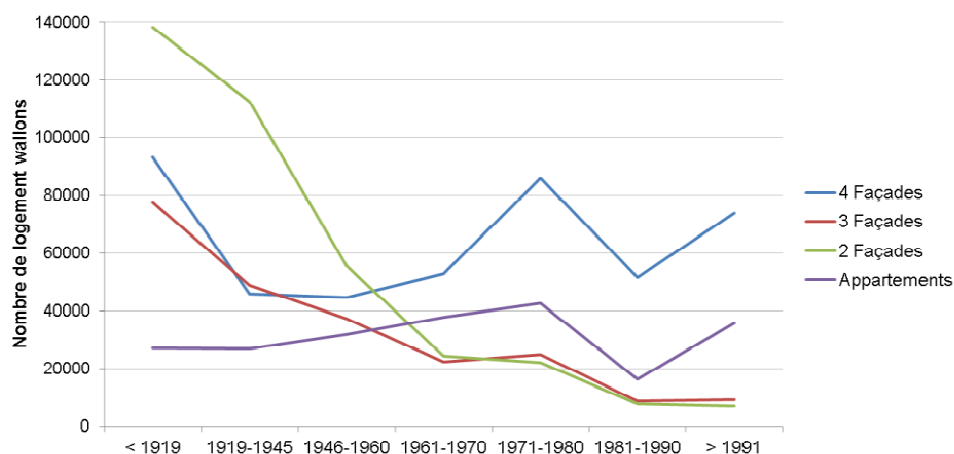


Figure 28 : Evolution du nombre de logements construits en fonction de leur type

Les deux figures précédentes illustrent ce lien entre la configuration des logements et leur ancienneté. Les maisons mitoyennes sont prépondérantes jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, ensuite leur part devient de plus en plus faible. Si les maisons « 4 façades » sont déjà nombreuses avant 1919, elles deviennent majoritaires à partir des années 60. Les appartements ont une répartition relativement homogène (excepté dans les années 1980-1990 où ils sont moins nombreux) (Figure 3). (Kints C., 2008) La Région wallonne est composée à 35% de maisons séparées dites souvent « 4 façades » ce qui représente un coût énergétique plus important à niveau d'isolation égale mais présente l'avantage de bénéficier de plus d'espaces autour du bâtiment pour favoriser une rénovation globale du bâtiment au moyen d'une isolation par l'extérieur. Le caractère patrimonial doit évidemment être pris en compte ce qui rend bien souvent cette isolation par l'extérieure difficile. 68% des maisons 2 façades datent du début du 20^{ème} siècle et représentent également un potentiel de rénovation (Figure 3).

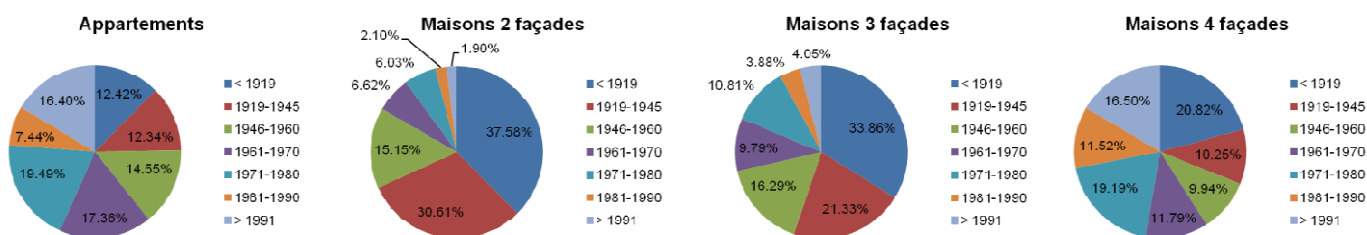


Figure 29 : Répartition des années de construction par type de logement

4.2.2. Situation énergétique des logements wallons

Les bilans énergétiques belges mettent en avant l'importance du chauffage sur la facture puisqu'environ 75 % de l'énergie résidentielle utilisée par les ménages sert à chauffer leur logement (voir figure 4) et rapportée en énergie primaire, cela devient environ 57% suite à l'utilisation de l'électricité par les électroménagers (figure 5).

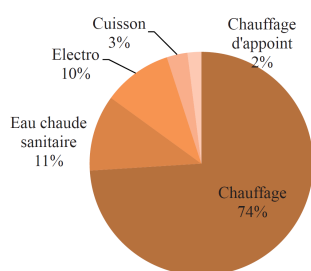


Figure 30 : Répartition des consommations des logements en fonction du type d'occupation en Wallonie (Source ICEDD Bilan énergétique wallon 2005)

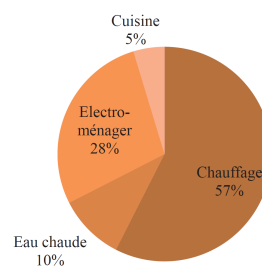


Figure 31 : Proportion d'énergie primaire utilisée par le résidentiel où en terme d'énergie primaire, l'électroménager pèse nettement plus lourd, réduisant l'importance du chauffage (qui reste cependant le plus gros poste). (Source : Test-Achats, 2007)

Cette situation énergétique des bâtiments est liée à leur époque de construction. En effet, en Région wallonne, 70% du parc de logements date d'avant la première crise pétrolière et 45% date d'avant la Seconde Guerre mondiale comme l'atteste le tableau ci-dessous (Tableau 1). Cela démontre que le parc de logement belge est assez vieux et par conséquent très peu performant énergétiquement.

Tableau 24 : Logements selon l'année de construction et la région (en %) (Source: INS - RPL 1991 et ESE 2001, calculs OASeS cité dans (Vanneste D. et al., 2007))

Année de création	Région wallonne		Région de Bruxelles-Capitale		Région flamande		Belgique	
	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001
Avant 1919	33,2	27,1	17,3	15,9	12,6	9,3	19,5	15,4
1919 – 1945	17,3	18,1	25,2	26,3	16,8	15,1	17,7	17,0
1946 – 1970	27,1	23,7	41,1	37,7	37,7	31,9	34,7	29,8
1971 – 1980	15,7	14,0	12,7	11,2	20,7	17,2	18,4	15,7
1981 – 1990	6,7	7,0	3,7	3,5	12,2	11,2	9,7	9,3
1991 – 2000	-	10,1	-	5,4	-	15,3	-	12,9
Transformations de 1991 à 2001	9,2	10,8	5,6	9,4	6,4	9,8	7,2	10,1

On peut observer que le nombre total de travaux de transformations augmente fortement en Belgique et entre 1991 et 2001, ce sont 353.587 logements qui ont été rénovés. La Région wallonne rénove davantage que les 2 autres Régions même si un mouvement de rattrapage a été enclenché. Ces transformations proviennent de la tendance actuelle qui est à l'achat d'une maison ancienne et du fait que les ménages adaptent de plus en plus leurs logements au cours du temps afin de les faire correspondre à leurs goûts et d'adapter la taille du logement à leur évolution personnelle. C'est donc près d'1% des logements qui font l'objet d'une transformation chaque année (à titre privé ou en vue d'une location). Les travaux de rénovation les plus fréquents concernent :

- le remplacement de portes et de châssis
- l'amélioration de revêtements de sols abîmés
- la mise en conformité des installations électriques et de gaz
- le remplacement des toitures
- l'évacuation des eaux pluviales
- le remplacement ou renforcement des charpentes
- l'assèchement des murs

Ceci provient de l'enquête-qualité 2007 dont le questionnaire ne prenait pas en compte les travaux visant l'amélioration thermique. Ce taux de 1% est donc probablement sous-estimé. Et il reste cependant assez difficile d'évaluer le nombre de rénovations totales, car beaucoup de ces rénovations ne nécessitent pas de permis d'urbanisme, notamment celles visant à améliorer la performance énergétique des bâtiments.

L'âge du bâti et leur transformation sont liés : la moitié des logements transformés datent d'avant 1946 (voir Figure ci-dessous). Remarquons cependant que la proportion de transformations des logements anciens construits jusqu'en 1960, diminue entre 1991 et 2001. Et a contrario, les logements construits après 1961 font davantage l'objet de transformations qu'auparavant en 2001 par rapport à 1991. (Vanneste D. et al., 2007 et Kints C., 2008)

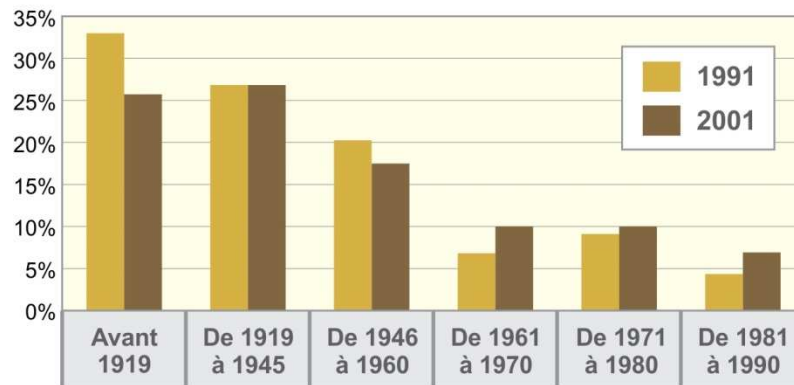


Figure 32 : Logements transformés selon l'année de construction (en %) ((Vanneste D. et al., 2007)

L'étude de Kints (Kints C., 2008) et de Vanneste (Vanneste D. et al., 2007) donne un bon aperçu de la situation énergétique des bâtiments en Belgique et en Région wallonne malgré qu'il soit difficile de discerner dans les chiffres, ceux concernant la ville et ceux concernant le périurbain et le rural. Il y a, donc en tout, 64.10% de bâtiments n'étant pas isolé, 7% ayant une isolation partielle et 28.90% ayant une isolation totale. Les bâtiments possédant de l'isolation (soit 35.90%) peuvent être répartis comme suit :

- 18% avec 1-3cm
- 38% avec 4-6cm
- 16% avec 7-10 cm
- 28% inconnu

Les plus anciens bâtiments possèdent un potentiel énorme de rénovations énergétiques, car ils sont extrêmement mal isolés comme l'illustre la figure ci-dessous. En effet, elle révèle que c'est à partir des crises énergétiques des années 70 que l'isolation des murs commence lentement à se généraliser. Mais il en ressort que lors de rénovations ou transformations, si l'isolation des toitures et le remplacement des fenêtres sont des pratiques courantes, la post-isolation des murs reste cependant très rare. (Kints C., 2008)

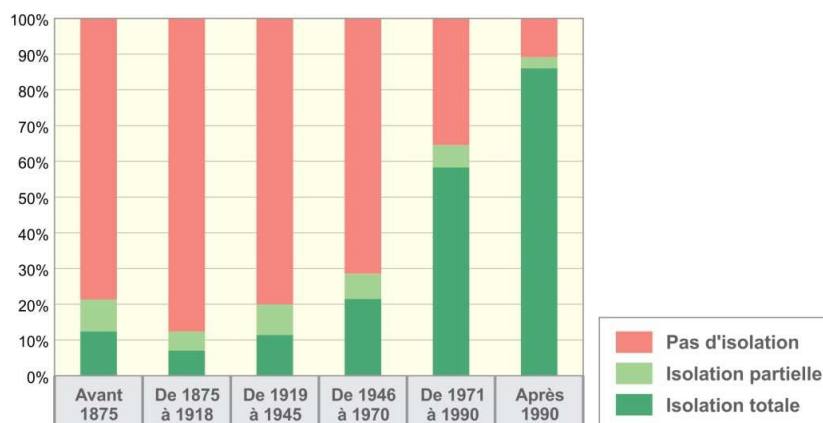


Figure 33 : Pourcentage des logements ayant des murs isolés en fonction de leur époque de construction (Kints C., 2008)

Pour diminuer les consommations énergétiques des bâtiments, la rénovation des bâtiments existants apparaît comme une excellente solution. L'idéal est évidemment de lier travaux de réhabilitation et rénovation énergétique globale.

4.3. Evaluation de l'impact de rénovations et stratégies d'évolution du stock bâti

4.3.1. Evaluation du potentiel d'économie d'énergie du bâti wallon : les scénarios

L'évaluation du potentiel d'économie d'énergie du stock de logements wallons se base sur les études de Kints, de Vanneste et d'Evrard (Kints C., 2008, Vanneste D. et al., 2007 et Evrard A. et al., 2012). Celles-ci ont permis de comprendre la constitution du parc de logements en fonction des années de construction et des types de logements, de lier les niveaux de performances du logement par rapport à l'époque de construction, d'établir des hypothèses d'évolution du parc, etc.

En appliquant les données relatives à la constitution du parc, à cette évaluation du stock de logements, et sur base des simulations effectuées dans le cadre de l'étude SAFE, une répartition des consommations dues au chauffage et à la ventilation en fonction des différents types de bâtis a été développée afin de correspondre le plus possible à la réalité. Cette analyse prend en compte 3 types de logements : le « 4 façades », le « 3 façades » et le « 2 façades ». Les résultats des simulations de bâtiments ont donc été répartis afin de reconstituer le parc de logement en fonction des performances des différents bâtiments en fonction de leur période de construction et des trois types étudiés. La reconstitution du parc de logement est établie pour un état actuel qui évoluera en fonction des scénarios de rénovations et de ceux d'évolutions. Les résultats sont repris des simulations de bâtiments de 85 m² (taille moyenne des logements en Région wallonne), à différents niveaux de performances énergétiques et pour les 3 types différents. Les simulations thermiques dynamiques prises en compte dans cette étude se basent sur un

climat d'Uccle et sur un thermostat fixé à 20 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 16 °C durant la nuit et en journée. Les simulations ont été modélisées en essayant d'être les plus représentatives au niveau de leurs conditions internes : le mode d'occupation et les consignes d'utilisation sont considérés comme moyens. (Voir rapport précédent pour avoir les conditions de simulation).

Le tableau ci-dessous reprend les consommations moyennes par logement dues au chauffage et à la ventilation du stock de logements wallons et les consommations dues au chauffage et à la ventilation à l'échelle du stock de logements. Le système de chauffage est considéré au mazout, combustible le plus répandu en Région wallonne et le rendement global moyen des installations de chauffages a été posé à 70%. Un rendement des systèmes de chauffage de 80% est considéré pour les nouveaux bâtiments et pour les bâtiments après rénovation. Les nouvelles constructions (NC) correspondent au standard actuel (E 80 et Espec 130). Notons que la consommation moyenne pour le chauffage des maisons en Région wallonne est de 20 530 kWh et que celle obtenue par cette étude est de 20 360 kWh (différence de 0.83%).

Le tableau suivant propose différents scénarios de rénovation afin de voir l'impact de différentes mesures à l'échelle d'un logement mais également au niveau de tout le stock. En tout, ce sont 12 scénarios tantôt optimistes, tantôt plus réalistes qui ont été appliqués au stock bâti existant :

- 1 1% de nouvelles constructions : ce scénario considère uniquement le taux d'accroissement du stock à travers les nouvelles constructions sans tenir compte des éventuelles transformations ;
- 2 Tous les vitrages deviennent des doubles vitrages performants : ce scénario de rénovation s'applique sur tout le stock et concerne tous les bâtiments ayant des simples vitrages ou des doubles vitrages anciens ;
- 3 Tous les toits (non isolés ou peu isolés) sont isolés avec 16 cm : ceci considère un renforcement général de l'isolation des toits des bâtiments ayant moins de 16 cm dans leur toit ;
- 4 Tous les vitrages deviennent des doubles vitrages performants et tous les toits (non isolés ou peu isolés) sont isolés avec 16 cm : ce scénario cumule les scénarios 2 et 3 ;
- 5 Tous les bâtiments construits après 1971 deviennent basse énergie : ce scénario considère que tous les logements construits après 1971 subissent une rénovation énergétique les rendant basse énergie ;
- 6 Tous les bâtiments construits entre 1961 et 1980 deviennent basse énergie : Idem qu'au scénario 5 mais pour une autre période où beaucoup de bâtiments « 4 façades » ont été construits ;
- 7 1% est rénové en basse énergie : ce scénario considère un taux de rénovation énergétique du stock de 1% ce qui correspond au taux de transformations en Région wallonne mais 1% de rénovation atteignant un niveau basse énergie est très important et donc assez théorique ;
- 8 2% est rénové en basse énergie : idem qu'au scénario 7 mais avec un taux plus élevé ;
- 9 1% de nouvelles constructions + 1% est rénové en 6 cm T16cm DVP : Ici, un taux d'accroissement du stock est considéré à 1% (valeur réelle) et un taux de rénovation de 1% est pris en compte pour la rénovation du stock en des bâtiments à 6 cm

d'isolation dans les murs, 16 cm dans le toit et possédant du double vitrage performant ;

- 10 1% de nouvelles constructions + 2% est rénové en 6 cm T16cm DVP : Idem qu'au 9, ici le taux de rénovation est fixé à 2% ;
- 11 1% de nouvelles constructions + 1% est rénové en basse énergie : Idem qu'au 9 si ce n'est que la rénovation est considérée comme atteignant un niveau basse énergie ; et
- 12 1% de nouvelles constructions + 2% est rénové en basse énergie : Idem qu'au 11 mais le taux de rénovation est ici à 2%.

Tableau 25 : Approche du bilan des consommations de chauffage et de ventilation du bâti wallon et scénario de rénovation de celui-ci

		Stock de logements wallon rapporté à l'échelle d'un bâtiment de 85m²				Stock de logements wallon				
		Consommation de chauffage (kWh/m²/an)	Consommation de chauffage (kWh)	Emissions de CO ₂ dues au chauffage (kg de CO ₂)	Réduction des consommations par rapport à l'état actuel (%)	Consommation de chauffage (TWh)	Emissions de CO ₂ dues au chauffage (Tg de CO ₂)	Différence de consommation de chauffage (TWh)	Différence d'émissions de CO ₂ dues au chauffage (Tg)	Réduction des consommations par rapport à l'état actuel (%)
	Etat actuel (1 261 310 Logements)	239.53	20360.32	5375.13		25.68	6.78		0.00	
1	1% de nouvelles constructions	238.17	20244.64	5344.58	0.57%	25.79	6.81	-0.11	-0.03	-0.43%
2	Tous les vitrages deviennent des doubles vitrages performants	218.30	18555.20	4898.57	8.87%	23.40	6.18	2.28	0.60	8.87%
3	Tous les toits (non isolés ou peu isolés) sont isolés avec 16 cm	217.12	18454.82	4872.07	9.36%	23.28	6.15	2.40	0.63	9.36%
4	Tous les vitrages deviennent des doubles vitrages performants et tous les toits (non isolés ou peu isolés) sont isolés avec 16cm	195.52	16618.82	4387.37	18.38%	20.96	5.53	4.72	1.25	18.38%
5	Tous les bâtiments construits après 1971 deviennent basse énergie	205.54	17470.95	4612.33	14.19%	22.04	5.82	3.64	0.96	14.19%
6	Tous les bâtiments construits entre 1961 et 1980 deviennent basse énergie	199.92	16993.31	4486.23	16.54%	21.43	5.66	4.25	1.12	16.54%
7	1% est rénové en basse énergie	236.34	20089.20	5303.55	1.33%	25.34	6.69	0.34	0.09	1.33%
8	2% est rénové en basse énergie	237.94	20224.76	5339.34	0.67%	25.51	6.73	0.17	0.05	0.67%
9	1% de nouvelles constructions + 1% est rénové en 6 cm T16cm DVP	236.78	20126.18	5313.31	1.15%	25.64	6.77	0.04	0.01	0.16%
10	1% de nouvelles constructions + 2% est rénové en 6 cm T16cm DVP	235.39	20007.73	5282.04	1.73%	25.49	6.73	0.19	0.05	0.75%
11	1% de nouvelles constructions + 1% est rénové en basse énergie	236.59	20110.42	5309.15	1.23%	25.62	6.76	0.06	0.02	0.24%
12	1% de nouvelles constructions + 2% est rénové en basse énergie	235.01	19976.20	5273.72	1.89%	25.45	6.72	0.23	0.06	0.91%

Le scénario 4 fournit une belle diminution des consommations dues au chauffage. Cela est révélateur du nombre de toits mal isolés et du nombre de vitrages peu performants or ce sont des mesures facilement mises en pratique. Le scénario 6 a également un bel effet dû à l'exigence de la performance à atteindre suite à la rénovation et au fait que cela touche un très grand nombre de logements qui sont en majorité des « 4 façades » et en partie construits avant 1970. Les TWh économisables à l'échelle du stock de logements sont non négligeables. Les scénarios de 9 à 12 ont un effet moins important mais correspondent davantage à une réalité et sont à regarder sur une longue période.

4.3.2. Evolution énergétique du stock de logements

Les scénarios alliant un taux d'accroissement du stock et un taux de rénovation énergétique (les scénarios 1 et 9 à 12) sont plus réalistes et applicables sur un long terme. C'est pourquoi il est intéressant de se baser sur eux pour analyser l'évolution énergétique du stock de logements à long terme.

La figure ci-dessous montre l'évolution de 5 scénarios d'évolution du stock à travers les consommations dues au chauffage et à la ventilation de logements sur une période qui s'étalent de 2011 à 2051. Cela permet de réaliser les gains énergétiques par logement qu'il serait possible d'obtenir selon l'un ou l'autre scénario, car le renouveau du stock et sa rénovation permettent en moyenne d'améliorer les qualités énergétiques des bâtiments.

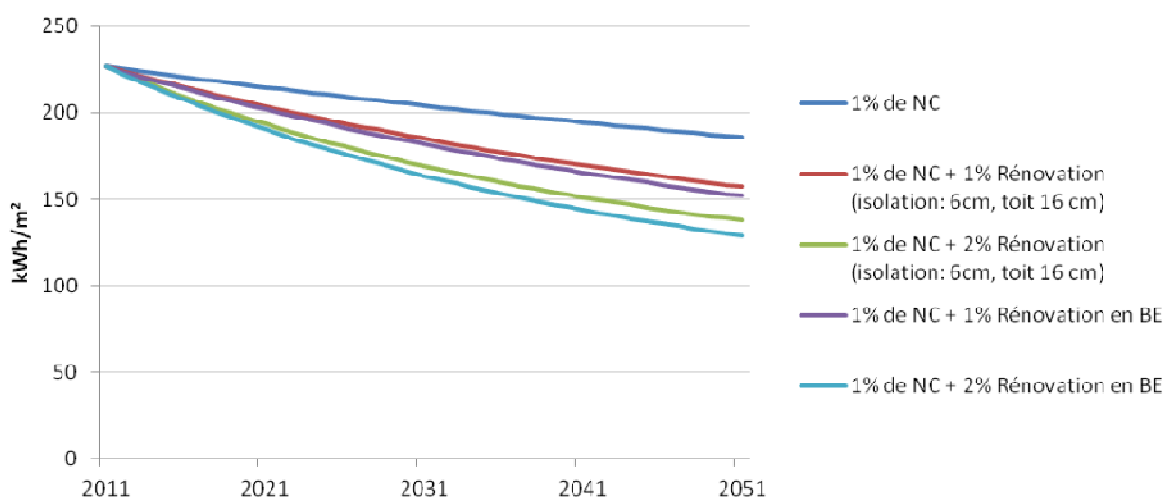


Figure 8 : Evolution des consommations moyennes par logement dues au chauffage et à la ventilation (en kWh/m²an) du stock de logements en Région wallonne de 2011 à 2051, suivant 5 scénarios : 1, 9, 10, 11 et 12. Les nouvelles constructions (NC) issues du taux d'accroissement correspondent au standard actuel (Escpec < 130)

La Figure suivante considère à présent ces différents scénarios à l'échelle de tout le stock de logements et montre qu'avec l'augmentation du nombre de bâtiments (taux d'accroissement de 1%), les consommations augmentent soit un peu, soit, dans les meilleurs cas, diminuent. A l'échelle du stock, ces scénarios ont un effet estompé. Cela montre que si on veut garder les

consommations de tout le parc, dues au chauffage, équivalentes à celles actuelles, il faut contrebalancer les nouvelles consommations issues de l'accroissement du stock par la rénovation de logements déjà existants. Cet équilibre n'est possible qu'au moyen de rénovations énergétiques relativement performantes et globales (impliquant toute l'enveloppe du bâtiment). Si les rénovations sont encore plus performantes (scénario 10 et 12), alors il devient possible de diminuer les consommations dues au chauffage.

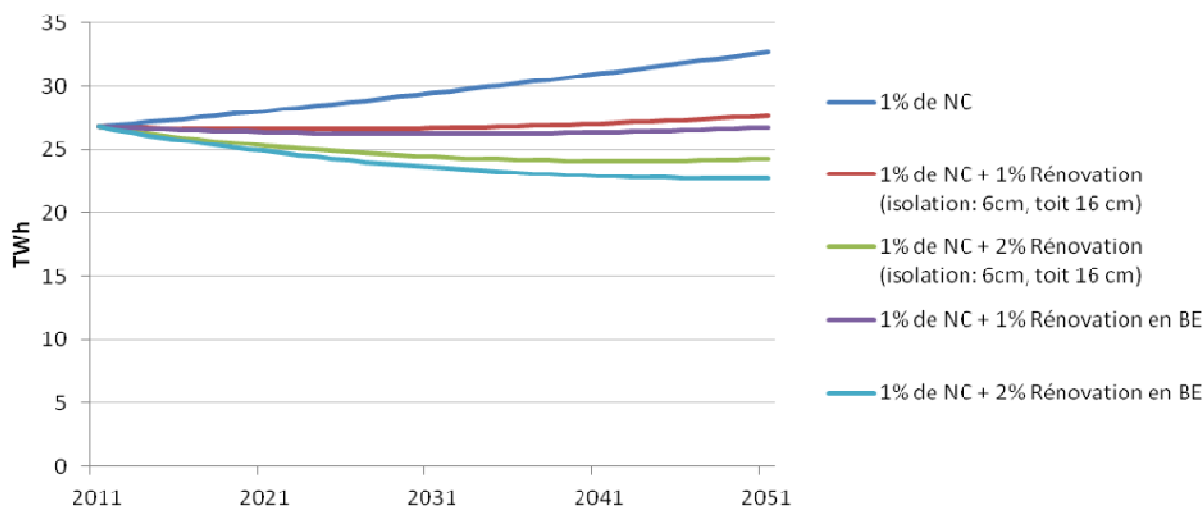


Figure 9 : Evolution de 2011 à 2051 des consommations dues au chauffage et à la ventilation (en TWh) du stock de logements en Région wallonne, suivant 5 scénarios : 1, 9, 10, 11 et 12. Les nouvelles constructions (NC) issues du taux d'accroissement correspondent au standard actuel (Escpec < 130)

Le tableau ci-dessous représente les différences en TWh et les réductions en % des consommations entre les différents scénarios et la situation actuelle sur 40 ans, lorsque les nouvelles constructions correspondent au standard actuel (Escpec < 130).

Tableau 3 : Différences et réductions des consommations dues au chauffage et à la ventilation entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 à travers différents scénarios d'évolution

Scénario d'évolution	1	7	8	9	10
Différence des consommations du stock entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en TWh)	-5.91	-0.87	2.53	0.04	4.07
Réductions des consommations moyennes du stock entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en %)	-22.03%	-3.25%	9.43%	0.14%	15.18%
Différence des consommations moyennes par logement entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en kWh/m²)	40.86	69.43	88.73	74.59	97.48
Réductions des consommations moyennes par logement entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en %)	18.04%	30.65%	39.17%	32.93%	43.03%

Dans les deux cas précédents, le taux d'accroissement des nouveaux bâtiments était donc représenté par des bâtiments correspondant au standard actuel de la PEB (Escpec < 130). Il est

intéressant de se demander ce qu'il serait si ce standard pour les nouvelles constructions était le standard maison passive dont le besoin net de chauffage est inférieur ou égal à 15kWh/m².an. La figure ci-dessous correspond à la Figure 8. Cette représentation donne l'évolution moyenne par logement du stock qui est indépendant du nombre de logements mais il est révélateur de l'amélioration moyenne de la qualité énergétique des logements.

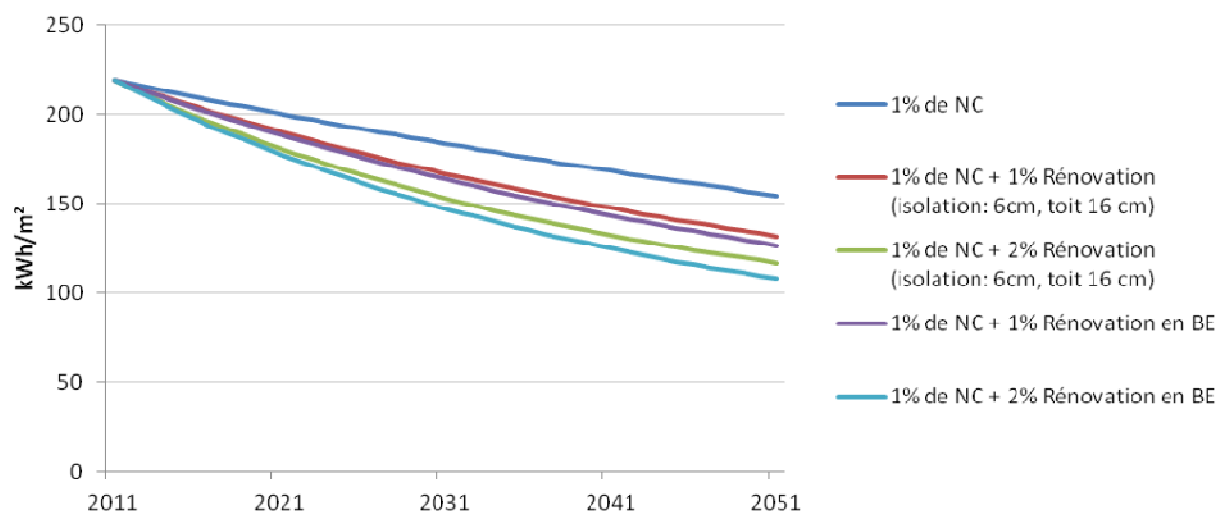


Figure 10 : Evolution des consommations moyennes par logement dues au chauffage et à la ventilation (en kWh/m².an) du stock de logements en Région wallonne de 2011 à 2051, suivant 5 scénarios : 1, 9, 10, 11 et 12. Les nouvelles constructions (NC) issues du taux d'accroissement sont considérées comme étant au standard maison passive (besoins nets de chauffage < 15kWh/m².an)

Au niveau de l'évolution énergétique du stock bâti, le fait d'avoir un standard très élevé pour les nouvelles constructions (NC) permet de limiter l'effet de l'augmentation des consommations totales malgré l'accroissement du stock de logements. Cela permet de diminuer plus vite les consommations totales dès les premiers efforts de rénovation.

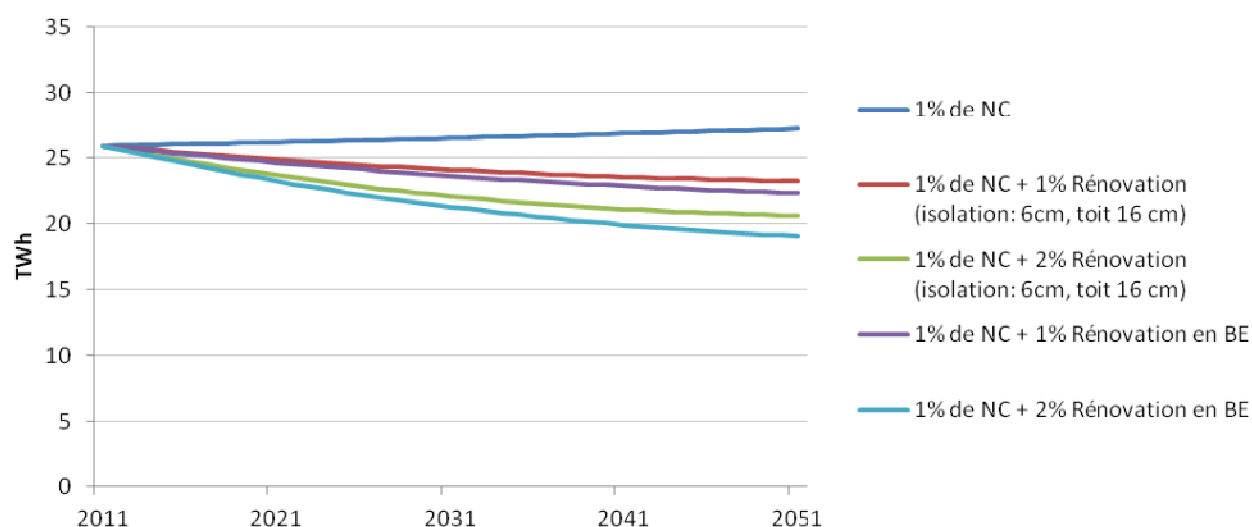


Figure 11 : Evolution de 2011 à 2051 des consommations dues au chauffage et à la ventilation (en TWh) du stock de logements en Région wallonne, suivant 5 scénarios : 1, 9,

10, 11 et 12. Les nouvelles constructions (NC) issues du taux d'accroissement sont considérées comme étant au standard maison passive (besoins nets de chauffage < 15kWh/m².an)

Le tableau ci-dessous représente les différences en TWh et les réductions en % des consommations par rapport au cas actuel lorsque les nouvelles constructions correspondent au standard maison passive (besoins nets de chauffage < 15kWh/m².an).

Tableau 4 : Différences et réductions des consommations dues au chauffage et à la ventilation entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 à travers différents scénarios d'évolution

Scénario d'évolution	1	7	8	9	10
Différence des consommations entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en TWh)	-1.31	2.69	5.31	3.60	6.85
Réductions des consommations moyennes du stock entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en %)	-5.07%	10.36%	20.46%	13.87%	26.41%
Différence des consommations moyennes par logement entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en kWh/m²)	64.46	87.15	102.00	92.31	110.75
Réductions des consommations dues au chauffage et à la ventilation entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en %)	29.43%	39.80%	46.58%	42.15%	50.57%

Ces résultats ne prennent en compte que les consommations issues du chauffage et de la ventilation. Cependant ces consommations peuvent être en partie réduites par l'utilisation de panneaux solaires ou d'autres énergies renouvelables intégrables en rénovation.

4.4. Conclusion

La Belgique se trouve actuellement dans un tournant stratégique concernant l'utilisation rationnelle de l'énergie avec l'introduction de la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (PEB). En effet, le parc de logements est très vieux puisque 70% date d'avant la première crise pétrolière et 45% date d'avant la Seconde Guerre mondiale. De ce fait, le chauffage occupe 75% de la facture énergétique du logement.

Cette étude a permis de mettre en avant 10 scénarios d'évolution du stock bâti. Les stratégies de rénovations locales sont un premier geste et sont évidemment profitables pour autant qu'elles aient un grand rayon d'action. Elles ont l'avantage d'être facilement réalisables et sur l'ensemble du stock, elles ont un réel impact énergétique. Les stratégies d'évolution du stock bâti projetées permettent de réduire les consommations de chauffages et de ventilation à condition que celles-ci soient assez performantes énergétiquement afin de contrebalancer l'effet de l'accroissement du stock. Il faudrait également tenir compte de l'impact d'énergies renouvelables qui permettent de diminuer les consommations globales d'un ménage et dans certains cas, celles dues au chauffage et/ou à sa ventilation.

Cependant, si les taux de rénovation présentés sont plus ou moins réalistes, les niveaux de

performances énergétiques proposées par ces rénovations restent relativement élevés par rapport à la réalité. Car beaucoup de travaux de rénovation consistent actuellement en des travaux de simple transformation n'ayant pas forcément ou directement un caractère énergétique. L'idéal serait évidemment de lier travaux de réhabilitation/transformation et rénovation énergétique globale.

5. Simulations « Logements » : des cas d'études vers l'outil interactif

5.1. Introduction

Jusqu'à présent, énormément de simulations ont pu être réalisées dans le but de cerner les différents impacts des mesures de rénovation soit globales soit locales. Dans le but de proposer un outil internet qui puisse être le plus représentatif des logements des quartiers périurbains, il est intéressant d'étendre encore ces simulations.

Comme les 7 cas d'études développés ont pu le révéler lors des précédents rapports, la taille d'une maison, les performances de son enveloppe, son type, etc. ont une influence sur les consommations du bâtiment. La figure ci-dessous compare deux types de logements : une maison 4 façades et une autre 2 façades de mêmes dimensions, à différents niveaux de performances de l'enveloppe.

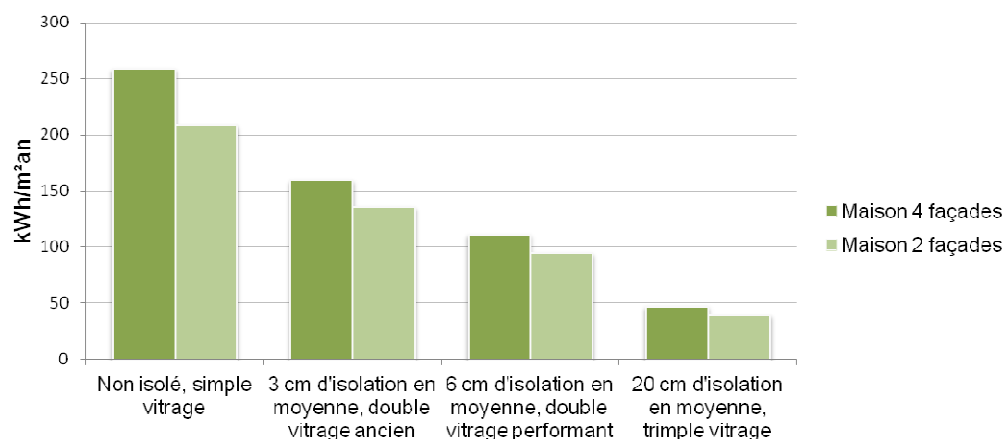


Figure 34 : Demande de chauffage en fonction du type d'habitation

Si l'impact de la performance de l'enveloppe du bâtiment est non négligeable, l'impact lié au type de bâtiment l'est également. Si l'outil ne prend pas en compte le contexte dans lequel s'implante le bâtiment, les fiches rappellent qu'un bâtiment très performant, s'il est isolé de tout centre, ne peut pas être considéré comme durable au sens large du terme vu la place que prendra le transport. Le choix d'un logement est donc une étape cruciale pour laquelle une réflexion globale doit être portée sur le développement d'un projet au caractère le plus durable possible. Cela devra être mis en avant dans le site web par des propositions de rénovation qui doivent permettre de conscientiser les utilisateurs des gains envisageables.

5.2. Hypothèse des simulations et des résultats

5.2.1. Méthode de modélisation

Il est apparu intéressant de développer un grand nombre de choix de bâtiments à proposer dans l'outil afin que chaque utilisateur puisse y trouver un logement correspondant le plus possible au sien. C'est pourquoi sur base de 3 des 7 cas d'études (le Nappe F3, La citée Cavée et le Foyer Fontainois), représentatifs chacun d'un type : le « 4 façades », le « 3 façades » et le « 2façades » ou mitoyen. De ces 3 cas, 9 autres cas ont été créés sur base de ces trois cas d'étude-ci. Cela a permis de modéliser les 3 cas ayant une taille déterminée (car cas réel) à 4 tailles en tout par type de logement. Notons que le modèle de la quatrième taille correspond au cas d'étude de Chaumont-Gistoux. La Figure ci-dessous schématise la méthode utilisée pour la modélisation de logements à d'autres tailles. En fonction de la taille, les bâtiments seront modélisés avec les mêmes gains internes (GI), chaque zone du bâtiment aura la même surface, les systèmes de ventilation auront les mêmes débits. Notons que les systèmes de ventilation A, pour avoir plus de cohérence entre les différents cas et types de logements, ne seront plus dépendant de la taille des ouvertures (fenêtres) mais les débits seront équivalents à ceux de la norme (NORME D50-001, 2008) devenant donc équivalents au système de ventilation C à la différence que celui-ci est équipé de ventilateurs (ce qui implique une consommation électrique). Chaque type garde à travers ses différentes tailles ses caractéristiques morphologiques comme les pourcentages d'ouvertures des parois (les fenêtres), spécifiques à leur nombre de façades donc au type, les proportions du bâtiment que chaque type garde peu importe sa taille, etc.

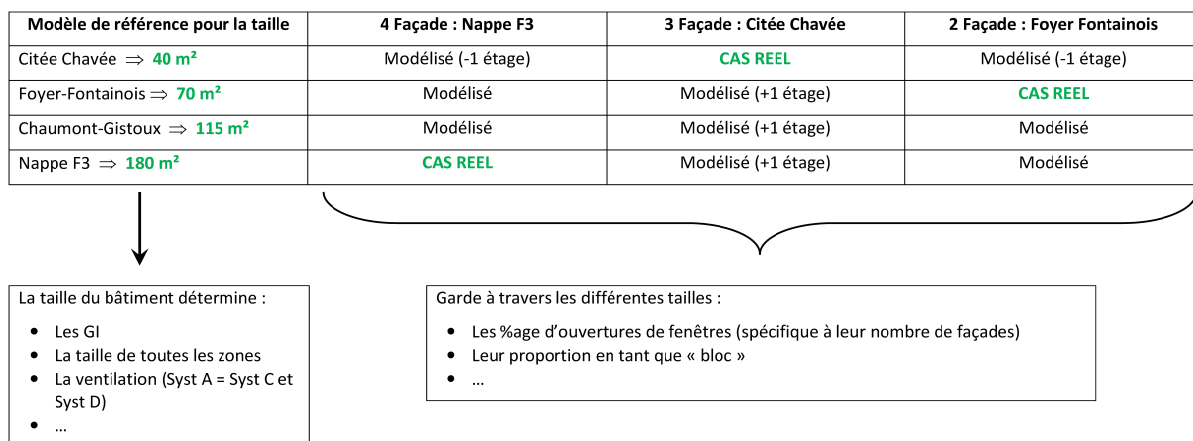


Figure 35 : Méthode utilisée pour étendre trois cas étudiés représentatifs chacun d'un type de logements à différentes tailles

Ces 12 cas restent assez restrictifs puisqu'ils ne sont représentatifs que de 4 tailles (ou surfaces chauffées) différentes de bâtiment. Afin d'étendre les possibilités à 17 tailles en tout, une extrapolation des résultats des 3 types de logements pour leurs 4 tailles est réalisée via des courbes de tendance linéaire reliant les 4 tailles entre elles, 2 par 2. Cela permet donc de proposer une valeur de demande de chauffage annuelle pour une plus large variété de taille de logements.

5.2.2. Méthode d'évaluation en vue de l'outil

La méthode d'évaluation des consommations des logements a débuté par l'établissement d'une typologie de bâtiments basée sur l'évolution des techniques constructives et des réglementations thermiques, et sur une analyse de typologie des bâtiments (Kints, 2008 ; Vanneste, 2007, energie.wallonie.be et voir les rapports précédents). Cela a permis d'identifier cinq périodes de construction clef : pré-1950, 1951-1980, 1981-1995, 1996-2011, post-2011. Trois types de bâtiment (« 4 façades », « 3 façades » et mitoyen) ont été investigués sur base de bâtiments existants et ils ont été développés à différentes tailles. Des gains internes moyens ont été définis selon un horaire, ainsi que des compositions de parois types. La variation des épaisseurs d'isolants, différents types de vitrages, de ventilations, d'infiltration d'air, etc. a été développée et analysée (voir les rapports précédents). Ces paramètres une fois combinés ont fait l'objet de simulations thermiques dynamiques afin d'analyser et de déterminer les besoins de chauffage et/ou de ventilation de tous les cas traités qui seront proposés dans l'outil. L'étude s'est également intéressée à l'élaboration de « bâtiments référents » répondant aux exigences actuelles pour les nouvelles constructions (E 80 et Espec 130, de septembre 2011). Pour compléter ces données, les standards de rénovation « basse énergie » et « très basse énergie » et le standard « passif » ont été considérés à la fois comme référents, mais également et surtout en tant qu'objectif potentiel à atteindre en rénovation. Les besoins nets connus (en kWh/m² et en kWh), les différents cas sont associables à des systèmes de chauffages ou appoints permettant de définir en fonction de leurs rendements respectifs, les consommations effectives des bâtiments. Les consommations ont été étendues aux consommations en énergie primaire et puis convertie pour obtenir l'équivalent de ces consommations en émissions de CO₂. Cela doit permettre d'investiguer l'état actuel d'un bâtiment et de mettre en avant les possibilités de rénovation des logements suite à de petites ou de plus importantes améliorations énergétiques.

5.2.3. Les bâtiments simulés

Les simulations et le fichier météo sont ceux déjà présentés dans les rapports précédents. Vu les différences sur les consommations constatées lors de l'étude des demandes de chauffage d'une habitation localisée à Uccle et de cette même habitation localisée à Saint-Hubert et afin d'ajuster le climat à la zone d'implantation du bâtiment, les résultats présentés dans l'outil sont adaptés en fonction des degré-jours du lieu. Afin d'obtenir des résultats les plus représentatifs, les bâtiments simulés qui serviront à la présentation des résultats dans l'outil sont au nombre de 12 et ont été étendus au nombre de 51 suite à l'augmentation des tailles (voir plus haut dans le texte).

5.2.4. Les paramètres composant les bâtiments

La modélisation des bâtiments a impliqué le choix de nombreux paramètres et hypothèses pour déterminer les cas d'étude afin qu'ils soient les plus représentatifs et réalistes possible. (NORME NBN B 62-002, 2008 ; NORME D50-001, 2008 ; Massart et De Herde, 2010 ; Delmotte, 2008 ; PEB, 2007). Ces paramètres sont ceux développés au cours de l'étude des différents cas d'étude.

5.2.4.1. Les parois

Une paroi type a été envisagée dont l'épaisseur d'isolant varie. Ces parois sont proposées à l'utilisateur, soit indirectement par un choix d'une année de construction soit directement par un choix personnel. Le tableau ci-dessous rappelle les compositions de parois utilisées pour les simulations (reproduit des rapports précédents).

Tableau 26 : Composition des parois

Nom de la paroi	Composition	Epaisseur (mm)
Mur extérieur creux	Enduit plâtre	15
	Bloc de béton semi-lourd	140
	(Isolation)	(80)
	Vide ventilé	50
	Brique	90
Plancher sur cave	Carreaux de grès	10
	Chape béton	70
	(Isolation)	(90)
	Hourdis	160
Plafond inter étage	Plancher	10
	Chape béton	70
	Hourdis	160
	Enduit plâtre	15
Plafond Etage - Comble	Plancher	10
	(Isolation)	(130)
	Enduit plâtre	15
Mur intérieur	Enduit plâtre	15
	Bloc de béton semi-lourd	60; 110
	Enduit plâtre	15

Plusieurs épaisseurs d'isolation dans les parois ont donc été modélisées et simulées pour chaque bâtiment simulé avec la possibilité de choisir une surépaisseur pour l'isolation des toits. Quatre types de vitrages ont été modélisés et ont été simulés en fonction de l'épaisseur d'isolant choisi : un simple vitrage ($U=5.8 \text{ W/m}^2\text{K}$) (SV), un double vitrage ancien ($U=2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$) (DVA), un double vitrage performant ($U=1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$) (DVP) et un triple vitrage ($U=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$) (TV). Le Tableau ci-dessous reprend entre autres l'ensemble des différentes épaisseurs d'isolation testées et les vitrages proposés/disponibles pour ces épaisseurs.

Tableau 27 : Différentes épaisseurs d'isolation simulées et choix des vitrages et des types de ventilation proposés en fonction de ces épaisseurs

Epaisseurs d'isolation dans les parois (cm)	Epaisseurs d'isolation dans le toit (cm)	Types de vitrage	Types de ventilation
0	0 ou 16	SV, DVA, DVP	A
3	3 ou 16	SV, DVA, DVP	A
6	6 ou 16	SV, DVA, DVP	A
10	10 ou 20	SV, DVA, DVP, TV	C
		DVP, TV	D
15	15 ou 30	DVA, DVP, TV	C
		DVP, TV	D
20	20 ou 30	DVA, DVP, TV	C
		DVP, TV	D
25	25 ou 35	DVA, DVP, TV	C
		DVP, TV	D
30	30 ou 35	DVA, DVP, TV	C
		DVP, TV	D

Notons que chacun de ces cas varie également en fonction du thermostat (2 possibilités). Les simulations fournissent entre autres les demandes de chauffage pour les bâtiments. Puis en fonction du choix du système de chauffage, la consommation est calculée. Par facilité et souci de vulgarisation pour l'utilisateur, l'outil ne présente que des consommations.

5.2.4.2. Les gains internes

Les gains internes ont été définis en fonction de la taille du logement et de la fonction des pièces puisque les tailles des maisons et donc leurs nombres d'occupants, de pièces, etc. varient. Ceci est permis grâce à des simulations multizones de ne pas négliger les éventuels phénomènes de surchauffe, car ces effets de surchauffes sont brouillés lors de simulations en monozone. La modélisation des gains internes prend en compte tout ce qui est susceptible d'émettre de la chaleur à l'intérieur du bâtiment. Ceci est essentiel dans un travail d'analyse à différents niveaux de performance énergétique, car ces gains internes peuvent être à la source de surchauffes,... C'est de la valeur de gains internes obtenus expérimentalement lors du monitoring de la maison Pléiade (De Herde A., Bodart M., 1994) que se base la référence de la valeur à atteindre (voir rapport précédent). Les gains seront répartis entre les différentes pièces de la maison. De cette occupation découlera l'éclairage, l'utilisation de télévision ou d'ordinateur ou encore la cuisson de repas. Ces gains internes sont définis sur une journée et sont constants tout au long de la semaine et de l'année. Cette modélisation des gains internes ne prend pas en compte les congés passés dans la maison ni ceux passés hors de la maison (tels les week-ends ou les grandes vacances). Les modélisations des gains internes dans TAS se sont donc efforcé d'être les plus fidèles à la réalité de manière à pouvoir analyser les besoins exacts de chauffage. Ils sont détaillés en détail dans les rapports précédents. Pour les 4 tailles, les GI ont été utilisés sur base des cas d'études suivants :

- Citée Cavée pour les cas de 40 m² de surface chauffée,
- Foyer Fontainois pour les cas de 70 m² de surface chauffée,

- Chaumont-Gistoux pour les cas de 115 m² de surface chauffée et
- Nappe F3 pour les cas de 180m² de surface chauffée.

5.2.4.3. Les standards

Afin d'évaluer tous les types de bâtiments mêmes les plus performants, 2 standards de rénovation : le basse énergie (besoin net de chauffage de ≤ 60 kWh/m²an) et le très basse énergie (besoin net de chauffage de ≤ 30 kWh/m²an) et le standard maison passive (besoin net de chauffage de ≤ 15 kWh/m²an) ont été pris en compte. Puisque ces standards ont un objectif de performance à atteindre, le besoin net exigé est imposé à tous les types de bâtiment. Ceci contrairement aux études précédentes qui visaient justement à analyser la capacité d'un bâtiment à atteindre les exigences sur base d'une conception en PHPP. Cela donnait des résultats plus variables et qui n'auraient pas permis de comparer les bâtiments entre eux de manière plus homogène et objective. Le système de chauffage ou d'appoint choisi, permet d'indiquer la consommation de chauffage (voir plus bas).

5.2.4.4. Les cas référents

Afin situer les résultats du bâtiment évalué face à une valeur de référence, des cas référents ont été établis. En effet, la consommation moyenne pour le chauffage des maisons en Région wallonne est de 20 530 kWh (Kints C., 2008) or cette moyenne est assez mauvaise et prendre cette valeur moyenne aurait moins éveillé l'attention des utilisateurs à l'importance des travaux de rénovation.

L'idée des cas référents est de montrer le bâtiment qui a été évalué s'il avait été construit à l'heure actuelle et de le comparer au cas évalué. Ces cas référents (un pour chaque taille proposée et pour chaque type proposé soit 51 en tout) représentent un bâtiment sélectionnable indépendamment de son système de chauffage (dimension, proportion, etc.) en supposant qu'il a été construit après septembre 2011. Cela implique qu'il respecte les exigences du E 80 et Spec 130. Pour que tous ces bâtiments référents soient cohérents entre eux, les coefficients de transfert thermique de leurs parois ont été fixés afin qu'ils correspondent aux U_{max} . Le simple respect des U_{max} ne garantit évidemment pas d'atteindre les exigences globales qui tiennent compte de la consommation d'énergie primaire du bâtiment ce qui implique de prendre en compte la consommation d'énergie du chauffage des locaux, de l'eau chaude sanitaire, du recours à des auxiliaires et à une climatisation éventuelle... La ventilation est considérée comme étant mécanique double flux puisque 65% des nouvelles constructions sont munies de ce type de ventilation à l'heure actuelle (Langendries et al., 2008) ce qui, signalons le, n'est pas une obligation.

Ces deux choix (U_{max} et système D) ont pour conséquence que par exemple une maison de petite taille mitoyenne sera assez performante et atteindra sans problème, voir même dépassera les exigences finales. Mais a contrario, dans le cas d'une maison 4 façades de grande taille, l'exigence des U_{max} et du système D ne suffisent pas à elles seules à atteindre les objectifs, mais cela deviendra possible par l'ajout de panneaux solaires (PS) par exemple. La présence de ces ajouts est signalée lors de la présence d'un de ces cas référents. L'ajout de ces panneaux solaires n'est pas indispensable pour atteindre les exigences actuelles, l'augmentation de l'isolation dans les parois pourrait suffire mais cela dépend également du système de chauffage et de ventilation. Et afin de garder des cas les plus cohérents entre eux, le choix a été de ne pas améliorer la valeur des U des parois. Le tableau ci-dessous reprend les

valeurs des besoins nets de chauffage des différents cas référents.

Tableau 28 : Besoins nets de chauffage en kWh/m² pour le cas référent (standard actuel pour les nouvelles constructions). U_{max} respectés, Système de ventilation D avec récupérateur de chaleur, Espec 130 et E80. (Les m² sont la surface de plancher chauffé et PS = Panneaux solaires)

Niveaux -->	1 niveau		2 niveaux				
m ² -->	45	55	65	75	85	95	...
4 Façades	112.82 + PS	110.85 + PS	87.59 + PS	84.85 + PS	82.29 + PS	79.89 + PS	...
3 Façades	87.97 + PS	87.44 + PS	66.53 + PS	64.90 + PS	63.26 + PS	61.65 + PS	...
2 Façades	68.97 + PS	69.65 + PS	48.73	48.12	47.31	46.39	...
Niveaux -->	2 niveaux						
m ² -->	...	105	115	125	135	145	...
4 Façades	...	77.65 + PS	75.56 + PS	73.60 + PS	71.77 + PS	70.07 + PS	...
3 Façades	...	60.09 + PS	58.59 + PS	57.16	55.80	54.51	...
2 Façades	...	45.42	44.43	43.44	42.48	41.54	...
Niveaux -->	2 niveaux						
m ² -->	...	155	165	175	185	195	200
4 Façades	...	68.48 + PS	66.99 + PS	65.61 + PS	64.33 + PS	63.13 + PS	62.56 + PS
3 Façades	...	53.29	52.15	51.08	50.07	49.13	48.68
2 Façades	...	40.64	39.79	38.98	38.22	37.50	37.16

Toujours afin de garantir que les cas de références atteignent une consommation d'énergie primaire du bâtiment correspondant aux exigences (E 80 et Espec 130), ils sont tous évalués avec un système de chauffage à condensation au mazout. En effet, certains des systèmes proposés (voir plus bas) sont peu adaptés dans le cas de ce standard pour répondre aux exigences finales et peu adaptés à l'heure actuelle.

Les résultats de ce cas référents servent également aux résultats des constructions « Après 2011 ». Là aussi lorsque l'utilisation de panneaux solaires est nécessaire pour atteindre les exigences, un message le signale. Mais à la différence des cas référents, les résultats correspondant à la sélection « après 2011 » respectent le choix du système de chauffage sélectionné par l'utilisateur.

5.2.5. Les systèmes

5.2.5.1. Les systèmes de chauffage

Jusqu'à présent l'étude s'était essentiellement intéressée aux demandes de chaleur. Cependant, afin d'évaluer les bâtiments, la notion de consommation doit être prise en compte. C'est pourquoi 23 systèmes de chauffage (soit local ou central) sont proposés permettent d'établir les consommations de chauffage qui découlent de diverses pertes de rendement. Le rendement global de chacun de ces 23 systèmes de chauffage est appliqué à la demande de chauffage du logement (aux besoins nets de chauffage). Les différents rendements propres à chacune des 23 installations de chauffage proposées ont été calculés sur base de l'Annexe I du Décret wallon sur la performance énergétique des bâtiments (PEB, 2007). Les coefficients de

conversion des consommations en énergie primaire proviennent également de cette Annexe I.

5.2.5.2. La ventilation

Trois types de ventilation des bâtiments sont envisagés et ont été simulés :

- ventilation manuelle (système de type A),
- ventilation avec extraction mécanique (système de type C),
- ventilation avec un double flux mécanique et récupérateur de chaleur de rendement à 85%) (système de type D).

La ventilation de type A dépend des ouvertures de fenêtres ou des grilles présentent dans les fenêtres. Cela peut varier énormément en fonction des tailles de fenêtres et des bâtiments, mais aussi en fonction des utilisateurs. Afin de proposer un débit proportionnel à chaque type de maison et à chaque taille, le débit de ventilation des systèmes A correspond à ceux des systèmes C. La différence réside en l'utilisation d'une ventilation mécanique dans le cas des systèmes de type C. Ces débits ont été calculés selon la Norme D50-001 (NORME D50-001, 2008) comme explicité lors des précédents rapports.

5.2.5.3. Le thermostat

Deux systèmes de thermostats développés dans les rapports précédents ont été repris :

- température continue de 20°C,
- température horaire de 20°C (de 6h à 8h et de 17h à minuit) avec une diminution à 16°C la nuit et en journée

Ceux-ci sont définis de manière à assurer un confort thermique. Tous les cas ont été simulés pour ces deux types de thermostats excepté dans 4 cas : pour les 3 standards et les cas « Après 2011 ».

5.2.5.4. Les consommations de CO₂

Les évaluations des émissions de CO₂ sont calculées pour le chauffage et la ventilation en fonction de facteur de conversion (IBGE, 2010 et Energie+ 2010).

5.3. Conclusion

Cette approche vise à pouvoir présenter un maximum d'évaluation de compositions de bâtiments différents pour trois types distincts (« 4 façades », « 3 façades » et « 2 façades ») à 17 tailles différentes. L'ensemble de tous ces résultats est contenu dans une base de données permettant d'alimenter le site internet.

L'avantage des résultats présenté est de pouvoir quantifier les consommations d'énergie et émissions de CO₂ relatives aux logements de manière rapide et facile. Cela rend une comparaison des consommations d'énergie et émissions de CO₂ d'un logement avec le secteur du transport des personnes. Cependant, rendre accessible aussi facilement et rapidement des résultats relatifs aux bâtiments nécessite d'être attentif et critique face aux résultats proposés :

- L'outil se base sur des simulations de 12 bâtiments types différents (un 4 façades, un 3 façades et un mitoyen pour 4 tailles différentes) ce qui apporte des résultats qui ne sont pas représentatifs de tous les types de bâtiments et peu représentatifs des cas particuliers ;
- Dans les évaluations, les impacts de la forme urbaine n'ont pas été pris en compte ;
- Peu d'information doivent être introduite ce qui implique une simplification importante des

paramètres composant et influant le bâtiment comme la composition des murs, les pourcentages de fenêtre vitrée, etc.

Notons que la forme bâtie est un élément qui sera traité dans le projet SOLEN qui fait suite à ce projet SAFE

6. Développement de l'outil interactif

Ce chapitre aborde le développement de l'outil interactif SAFE. Il rappelle d'abord les objectifs de l'outil puis présente ses différents composants : le contenu statique, les outils d'évaluation et les fiches pratiques.

6.1. Objectifs de l'outil interactif

L'objectif opérationnel du projet de recherche SAFE était de produire un outil interactif, accessible gratuitement sur le web, qui permette de valoriser les résultats de la recherche et de permettre leur accès à tous les acteurs du territoire, y compris le citoyen. Cet outil interactif prend la forme d'un site internet, accessible à l'adresse suivante : www.safe-energie.be

Cet outil a pour objet l'évaluation de l'efficacité énergétique des quartiers périurbains wallons existants et la comparaison de différentes stratégies de renouvellement. Il est destiné à l'ensemble des acteurs du processus de conception, réalisation et rénovation du milieu périurbain et aux citoyens. Il doit ainsi permettre à différentes catégories d'utilisateurs d'évaluer les consommations énergétiques de leur logement et de leurs déplacements, dans un objectif de vulgarisation scientifique et de sensibilisation du grand public aux questions énergétiques.

6.2. Le contenu de l'outil

Pour répondre aux objectifs définis ci-dessus, le site web SAFE (www.safe-energie.be) comprend trois types de contenus complémentaires : le contenu statique, les outils d'évaluation interactifs et les fiches pratiques.

6.2.1. Le contenu statique

Le site web SAFE (www.safe-energie.be) est structuré autour de 5 pages principales, accessibles via le bandeau supérieur (menu horizontal) :

- La page d'accueil permet un accès rapide aux outils d'évaluation via le bandeau vert principal et présente de façon rapide le contenu du site web. Un bandeau inférieur, également présent sur les autres pages du site comprend des liens vers les partenaires du projet (LEMA, Université de Liège, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain) et l'organisme qui a financé la recherche (Région wallonne, DG04).
- La page « projet » rappelle les objectifs du projet SAFE, le contexte dans lequel il a été développé, le partenariat mis en place et les perspectives ouvertes par la recherche.
- La page « étalement urbain » propose un bref aperçu de l'étalement urbain, en insistant en particulier sur ses grandes tendances en Région wallonne et sur les challenges qui lui sont liés, notamment en termes de consommation énergétique pour le transport et le logement.
- La page « test » propose un accès aux outils d'évaluation interactifs et un bref résumé de leurs caractéristiques. Les outils d'évaluation interactifs sont présentés dans la section 4.2.2.
- La page « fiches pratiques » permet d'accéder aux 18 fiches pratiques rédigées dans le cadre de la recherche. Elles sont disponibles en version web et en version pdf et sont

classées en quatre thèmes : les fiches d'intérêt général, les fiches qui traitent de l'efficacité énergétique du logement, les fiches qui traitent de l'efficacité énergétique des déplacements et les fiches qui abordent l'échelle du quartier. A chaque fiche, sont attribués un ou plusieurs « labels » qui permettent une recherche par mots-clés. Les fiches pratiques sont présentées dans la section 4.2.3.

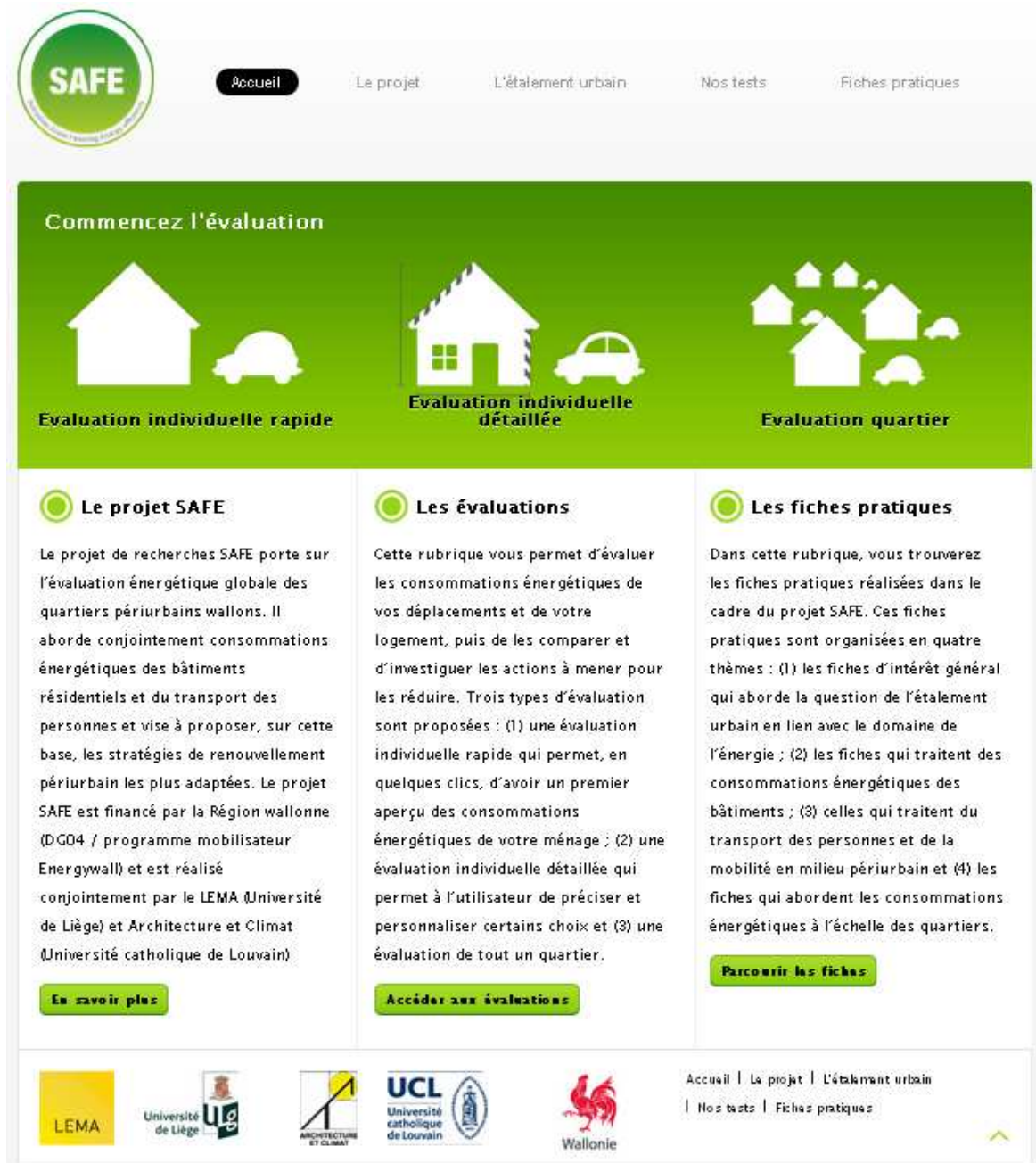


Figure 36 : La page d'accueil du site www.safe-energie.be

6.2.2. Les outils d'évaluation

Les trois outils d'évaluation sont accessibles soit par le bandeau vert présent sur la page d'accueil du site, soit par la page « nos tests ». Les trois outils d'évaluation sont organisés selon la même structure en quatre volets : une partie « transport » qui comprend le formulaire « transport » puis les résultats « transport », un volet « logement » qui comprend le formulaire « logement » puis les résultats « logement », un volet « comparaison » qui permet de comparer, sur base annuelle, les consommations d'énergie (kWh) et les émissions de CO₂ (kg de CO₂) des postes « transport » et « logement » et un volet « améliorations » qui propose certaines stratégies d'améliorations des résultats obtenus ainsi que des résultats chiffrés.



Figure 37 : Les 4 volets qui structurent les outils d'évaluation

6.2.2.1. L'évaluation individuelle rapide



L'outil d'évaluation individuelle rapide permet une première approche des consommations énergétiques relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école d'un ménage. Cet outil s'adresse principalement à un individu ou un ménage désireux d'estimer de façon très rapide ses consommations énergétiques et d'obtenir quelques pistes d'améliorations concrètes et chiffrées. Les informations à compléter pour obtenir les résultats sont volontairement limitées en nombre et très simples de façon à pouvoir compléter les formulaires rapidement et facilement. Pour le formulaire « transport », il suffit en effet à l'utilisateur de choisir sa commune de résidence dans la liste déroulante, puis de préciser son choix en sélectionnant l'ancienne commune où il réside. Le calcul des consommations énergétiques relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école s'effectue sur base du choix de la localisation résidentielle. Les valeurs proposées représentent ainsi la consommation moyenne d'un travailleur-type ou d'un écolier-type habitant dans l'ancienne commune sélectionnée.

Transport

Afin de permettre à notre outil d'évaluer les consommations énergétiques relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école dans votre quartier, veuillez sélectionner votre commune de résidence puis préciser votre choix :

Sélectionnez votre commune de résidence

Affinez votre sélection

Valider

Figure 38 : Formulaire transport dans l'outil d'évaluation rapide

La méthode d'évaluation a été développée au départ des données du recensement INS de 2001. Ces recensements nationaux sont réalisés tous les 10 ans et donnent, à l'échelle du secteur statistique, des informations relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école des ménages belges : distance parcourue, mode de transport principal utilisé, possession d'une voiture, etc. ainsi que des informations sur leurs caractéristiques socio-économiques. Nous renvoyons le lecteur intéressé par plus de détails sur la méthodologie employée, au rapport scientifique et technique numéro 2.

En plus de ces données, et pour convertir des kilomètres parcourus par un mode de transport déterminé en consommation d'énergie, des facteurs de consommations ont été calculés pour chaque mode de transport (voiture diesel, voiture essence, bus, train, vélo, marche à pied) sur base de moyennes régionales de consommations et de facteurs locaux comme le taux de remplissage et les performances des véhicules. Le facteur de consommation d'une voiture diesel a été évalué à 0,56 kWh/personne.km, celui d'une voiture essence à 0,60 kWh/personne.km, celui du bus à 0,45 kWh/personne.km et celui du train à 0,15 kWh/personne.km (voir Marique et Reiter (2012) pour le détail des calculs). Les facteurs de consommations du vélo et de la marche à pied sont évidemment nuls comme ces modes de transport ne consomment pas d'énergie. Des facteurs d'émissions ont également été déterminés de façon à convertir les kilomètres parcourus par mode de transport en émissions de CO₂.

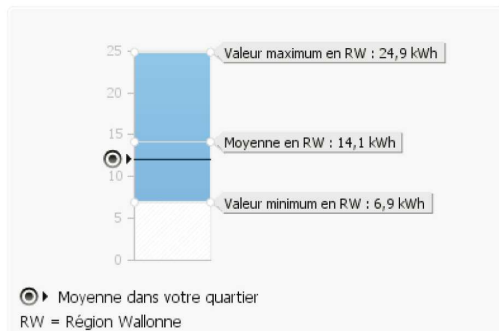
Trois indicateurs peuvent être déduits de ces données :

- (1) Un indice de performance, dérivé de Boussaux et Witlox (2009), qui exprime, en kWh/personne.trajet l'efficacité énergétique des déplacements domicile-travail (ou domicile-école) dans une entité territoriale déterminée (ici l'ancienne commune). Cet indicateur est exprimé par l'équation suivante, où i représente l'ancienne commune considérée, m le moyen de transport utilisé, D_{mi} la distance totale parcourue par le mode de transport m dans l'ancienne commune i pour les déplacements domicile-travail (ou domicile-école), f_m le facteur de consommation relatif au mode de transport m et T_i le nombre de travailleurs (ou d'étudiants) dans l'ancienne commune i .

Indice de performance (i) = $(\sum m D_{mi} * f_m) / T_i$

Domicile – Travail

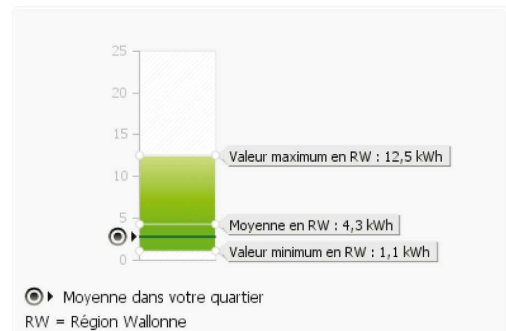
● Consommation énergétique



En moyenne, un habitant de votre quartier consomme **12 kWh** par trajet domicile – travail. Sa consommation annuelle s'élève à **5760 kWh** (sur base d'un travail à temps plein).

Domicile – Ecole

● Consommation énergétique

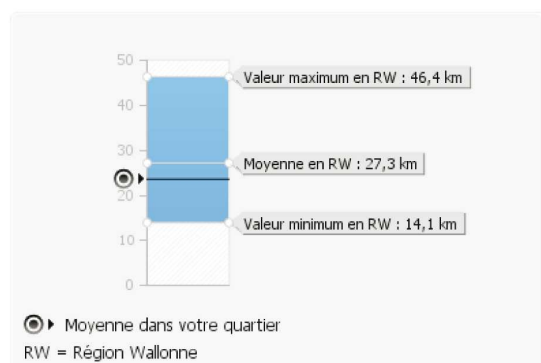


En moyenne, un écolier/étudiant de votre quartier consomme **2,8 kWh** par trajet de son domicile à l'école. Sa consommation annuelle s'élève à **1008 kWh**.

Figure 39 : Exemple : Indice de performance, en kWh/personne.trajet, pour les déplacements domicile-travail (à gauche) et domicile-école (à droite). L'indice de performance de l'ancienne commune sélectionnée est positionné sur une échelle graphique, ce qui permet la comparaison avec l'indice de performance moyen et les valeurs minimum et maximum calculées en Région wallonne.

- (2) La distance moyenne parcourue (en kilomètres) dans l'ancienne commune sélectionnée pour les déplacements domicile-travail (ou domicile-école) est obtenue en divisant la somme des distances domicile-travail (ou domicile-école) dans l'ancienne commune par le nombre de travailleurs (ou d'élèves).

● Distance parcourue



Il parcourt en moyenne **23,7 km** de son domicile à son lieu de travail.

● Distance parcourue



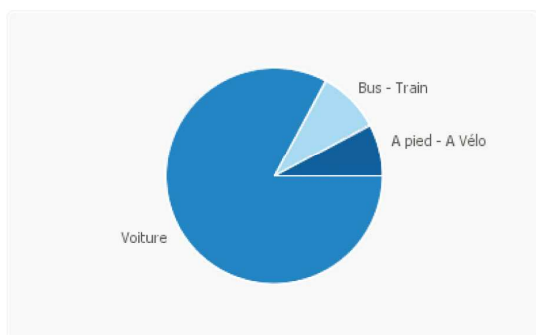
Il parcourt en moyenne **6,9 km** de son domicile à l'école.

Figure 40 : Exemple : Distance moyenne parcourue, en km, pour les déplacements domicile-travail (à gauche) et domicile-école (à droite)

- (3) L'indice des parts modales représente (en %) la fréquence d'utilisation de chaque mode de transport dans l'ancienne commune sélectionnée, pour les déplacements domicile-travail (ou domicile-école), selon l'équation suivante où ND_m est le nombre de trajets réalisés par le mode m.

$$\text{Indice des parts modales (i)} = \text{ND}_m / \sum \text{ND}$$

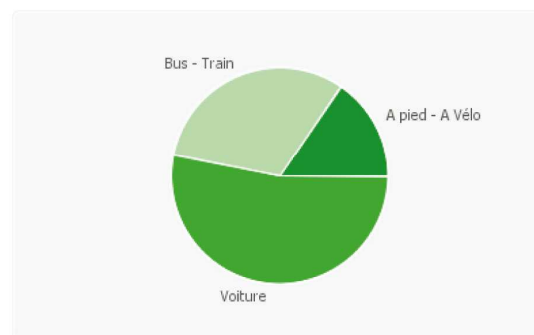
● Répartition des parts modales pour les déplacements domicile-travail



En moyenne, dans votre quartier:

- La part modale de la voiture est de 82.8 %
- La part modale des transports en commun est de 9.3 %
- La part modale pour les déplacements à pied et à vélo est de 7.9 %

● Répartition des parts modales pour les déplacements domicile-école



En moyenne, dans votre quartier:

- La part modale de la voiture est de 53.1 %
- La part modale des transports en commun est de 31.3 %
- La part modale pour les déplacements à pied et à vélo est de 15.6 %

Figure 41 :

Exemple : Répartition des parts modales, en %, pour les déplacements domicile-travail (à gauche) et domicile-école (à droite)

Le second volet (« logement ») comprend d'abord un formulaire. L'utilisateur est invité à choisir un type d'habitation (2, 3 ou 4 façades), la taille de celui-ci (de la surface chauffée), l'année de construction ou un standard (basse énergie, très basse énergie ou passif) et le système de chauffage ou l'appoint.

Evaluation individuelle rapide

Transport **2** Logement Comparaison Améliorations

Logement

Type d'habitation [?]

Taille du logement [?]

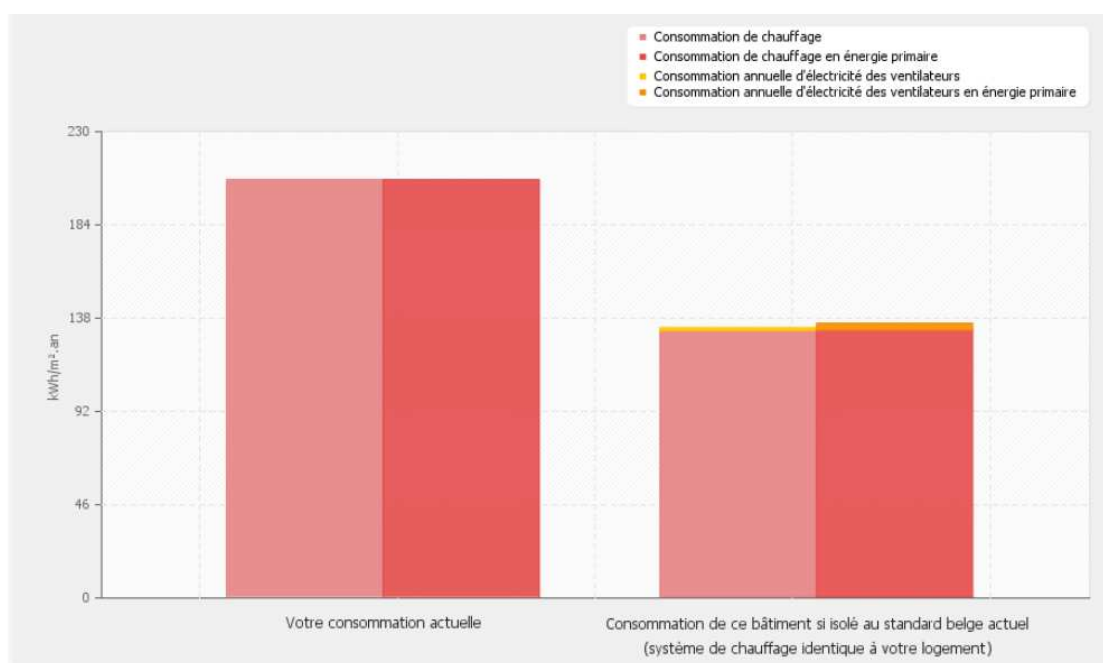
Année de construction/Performance [?]

Ce choix nous permet d'estimer les caractéristiques constructives du bâtiment comme suit : isolation de 3 cm de moyenne (mur, toit, plancher) et avec double vitrage ancien.

Système de chauffage / Appoint [?]

Figure 42 : Formulaire « logement » dans l'outil d'évaluation rapide

La page de résultats « logement » présente, sous forme de graphe, des valeurs qui sont issues de simulations de cas types qui permettent de donner une idée des consommations d'un bâtiment, malgré que ces résultats restent cependant peu représentatifs des cas particuliers. Les résultats sont présentés en kWh/m².an ou encore de kWh par an sous forme de consommations de chauffage et de ventilation, et de consommations en énergie primaire. Les émissions de CO₂ associées aux consommations sont également présentées.



- Comparaison de la consommation de chauffage de votre logement (en kWh/m².an) avec celle du même logement mais à d'autres niveaux d'isolation.



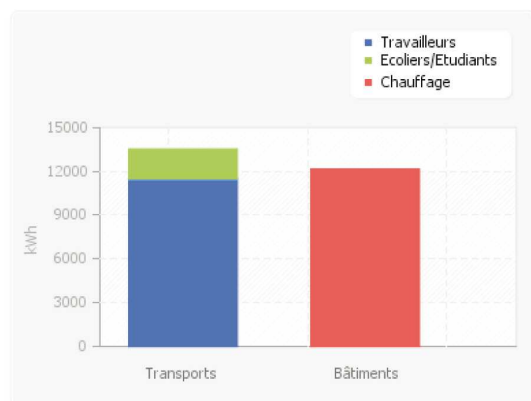
Figure 43 : Exemple de résultats « bâtiment » dans l'outil d'évaluation rapide.

Afin de permettre une comparaison (troisième volet) des consommations énergétiques relatives aux déplacements de l'utilisateur avec les consommations énergétiques relatives au chauffage de ces bâtiments (onglet 3, comparaison), une unité commune a été choisie : le kWh. Les consommations relatives aux déplacements des personnes sont donc ramenées à une consommation annuelle, exprimée en kWh. La comparaison « transport / logement » peut également être exprimée en émissions de CO₂.

Les hypothèses suivantes sont utilisées pour la comparaison « transport / logement » dans l'outil d'évaluation rapide :

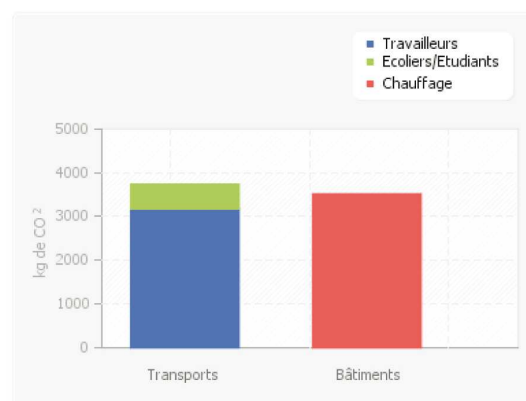
- Le ménage-type est constitué de deux adultes qui travaillent à temps plein et de deux enfants scolarisés
- Un travailleur-type à temps-plein effectue 10 trajets simples domicile-travail par semaine, 48 semaines par an
- Un écolier-type effectue 10 trajets simples domicile-école par semaine, 36 semaines par an.

● Consommations énergétiques



Un ménage-type dans votre quartier (2 travailleurs à temps plein et 2 écoliers / étudiants) consomme annuellement **13536 kWh** pour l'ensemble de ses déplacements domicile-travail et domicile-école. Les consommations dues au chauffage et à la ventilation de son habitation s'élèvent à **12171 kWh/an**.

● Emissions de CO₂



Un ménage-type dans votre quartier (2 travailleurs à temps plein et 2 écoliers / étudiants) émet annuellement **3744 kg de CO₂** pour l'ensemble de ses déplacements domicile-travail et domicile-école. Le chauffage et la ventilation de son habitation émettent **3502 kg de CO₂/an**.

Figure 44 : Exemple : Comparaison des consommations énergétiques annuelles en kWh (à gauche) et des émissions de CO₂ annuelles en kg de CO₂ (à droite) relatives aux déplacements d'un ménage-type et au chauffage de son logement.

Enfin, le dernier volet de l'évaluation rapide propose plusieurs pistes d'améliorations des résultats obtenus. Ces pistes concernent le transport et le logement. Pour chacune, l'utilisateur peut trouver des résultats chiffrés qui permettent de quantifier les gains potentiels attendus et ainsi identifier, dans son cas particulier, les stratégies les plus efficaces à mener.

Favoriser le report modal vers les transports en commun et les modes doux

Réduire les distances parcourues en véhicule motorisé

Améliorer les performances des véhicules

Favoriser le télé-travail

Favoriser une bonne gestion des consignes de températures

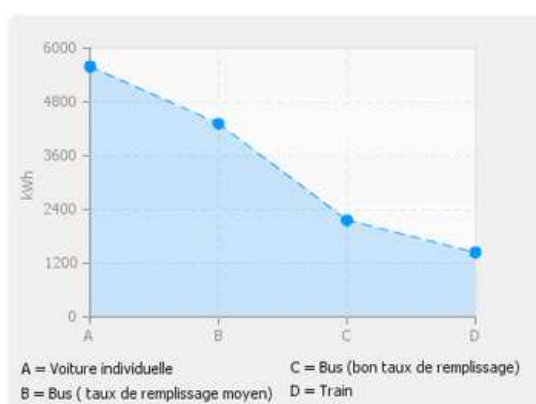
Améliorer vos vitrages

Améliorer l'isolation de votre toiture

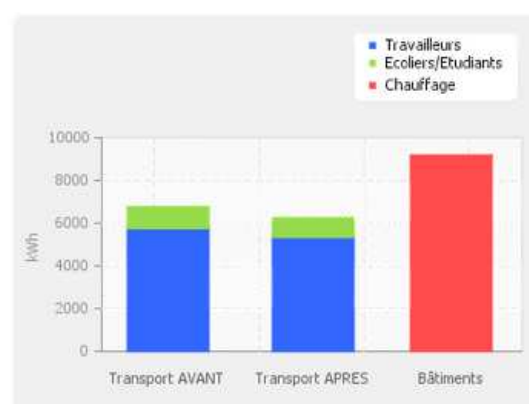
Favoriser des systèmes de chauffage non électrique

Rénover l'enveloppe de son logement

Figure 45 : Exemple de stratégies d'améliorations proposées dans l'outil pour réduire les consommations énergétiques.



Consommations annuelles (kWh) relatives aux déplacements domicile-travail d'un travailleur parcourant 20 kilomètres entre son domicile et son lieu de travail (240 jours de travail par an), pour 4 modes de transport différents.



Consommations énergétiques annuelles (kWh) d'un ménage-type dans votre quartier.

Figure 46 : Exemple de résultats proposés, ici pour la stratégie « favoriser le report modal ». L'utilisateur peut trouver, sur le graphe de gauche, l'impact d'un changement de mode de transport pour le travailleur principal, et sur le graphe de droite, l'impact de la stratégie considérée sur les consommations globales (transport+logement) annuelle du ménage.



L'outil d'évaluation individuelle détaillée permet d'estimer les consommations énergétiques relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école d'un utilisateur (ou ménage) et celles relatives au chauffage de son logement de façon plus précise et personnalisée que dans l'évaluation individuelle rapide. Les informations à compléter pour obtenir les résultats sont plus importantes en nombre et plus spécifiques. Cet outil s'adresse principalement à un individu ou un ménage désireux d'estimer de façon plus précise ses consommations énergétiques et d'obtenir quelques pistes d'améliorations concrètes et chiffrées.

Dans cet outil d'évaluation détaillée, les données d'entrée proviennent de l'utilisateur et plus des recensements INS. L'utilisateur est donc amené à entrer la composition de son ménage (nombre de travailleurs et nombres d'enfants scolarisés), puis, pour chaque personne à préciser ses habitudes de déplacements : mode de transport principal, distance parcourue, fréquence de déplacements. Dans cet outil d'évaluation, quatre compléments sont proposés :

- La possibilité d'entrer un mode de transport secondaire. Cette option doit être sélectionnée si l'utilisateur utilise deux modes de transport différents au cours d'un même trajet (par exemple la voiture du domicile à la gare puis le train de la gare au lieu de travail) ou s'il utilise deux modes de transport différents au cours de la semaine (par exemple deux jours en bus et trois jours en voiture).
- La possibilité de préciser la consommation de son véhicule.
- La possibilité de préciser, dans le cas où le bus est utilisé, s'il se situe en milieu urbain ou en milieu périurbain ou rural de façon à adapter le taux de remplissage pris en compte dans l'évaluation.
- La possibilité d'entrer des données relatives au covoiturage.


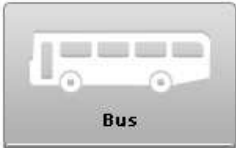



Les mêmes facteurs de consommations que ceux présentés ci-dessus sont utilisés pour convertir les distances parcourues en différents modes de transport en consommation d'énergie et pouvoir les agréger pour obtenir la consommation d'énergie relative aux déplacements de l'ensemble du ménage. Nous renvoyons le lecteur intéressé au rapport scientifique et technique numéro 2 pour les détails et hypothèses de la méthode employée.

La page de résultats propose d'abord deux graphiques présentant les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ annuelles relatives aux déplacements de l'ensemble du ménage. La contribution de chaque individu est identifiée sur ces graphiques. L'indice de performance relatif à chaque personne (travailleur et écolier) du ménage est ensuite proposé.

☒ Données relatives au travailleur 1

☐ En plus de mon mode de transport principal, j'utilise un mode de transport secondaire/complémentaire ?

Mode de transport principal

Type de carburant

☒ Diesel
 ☐ Essence

Consommation du véhicule: 6 Litres/100km

Nombre de trajets domicile-lieu de travail et lieu de travail-domicile par semaine: 10 trajets

Nombre de semaines de travail par an ? 48 semaines

Nombre de kilomètres parcourus entre le domicile et le lieu de travail: 20 kilomètres

☒ Je fais du covoiturage

Combien de personnes (autre que le chauffeur) ? : 2 personne(s)

Figure 47 : formulaire « transport » dans l'outil d'évaluation détaillée

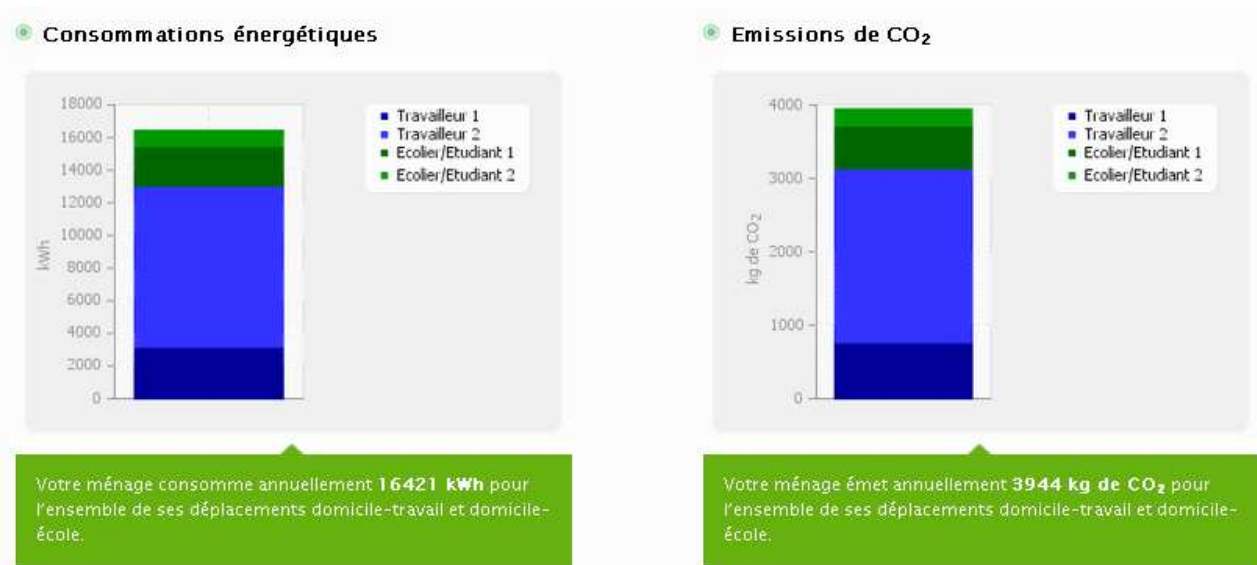


Figure 48 : Résultats transport : consommations et émissions annuelles de CO₂ du ménage considéré dans le formulaire et identification de la part attribuable à chaque personne.

Les données à entrer dans le formulaire « logement » de l'évaluation détaillée sont les mêmes que pour l'évaluation rapide, mais la possibilité est donnée de changer quelques valeurs par défaut. Cinq paramètres peuvent être adaptés : le niveau d'isolation moyen du logement, l'isolation dans le toit, le type de vitrage, le type de ventilation (dont le choix dépend du niveau d'isolation choisi) et la consigne de température. Les valeurs proposées proviennent des mêmes simulations thermiques dynamiques que pour le test rapide.

Les mêmes genres de résultats sont présentés au moyen de graphes présentant les consommations de chauffage et de ventilation, leur équivalent en énergie primaire, les émissions de CO₂ qui en découlent. Cet ensemble de résultats est mis en parallèle avec ceux d'un cas référent correspondant à ce bâtiment s'il avait été construit en 2011. L'évaluation des consommations et de la performance de ce logement est ensuite présentée à travers les consommations de ce logement suite à différentes mesures de rénovation.

Le niveau d'isolation moyen de votre logement ?

Isolation plus performante dans le toit ? ☐ Isolation de 16cm

Type de vitrage ?

Type de ventilation ? La ventilation considérée est une ventilation naturelle (de type A)

Consigne de température ?
20 °C dans les pièces occupées

[Etape précédente](#) [Accéder aux résultats](#)

Figure 49 : Formulaire « logement » de l'évaluation détaillée : la possibilité est donnée de préciser et personnaliser les données entrées dans la première partie du formulaire (identique au formulaire de l'évaluation rapide).

L'onglet « comparaison » propose une comparaison des consommations énergétiques relatives aux déplacements du ménage (sur base des données entrées par l'utilisateur dans le formulaire) avec les consommations énergétiques relatives au chauffage de son logement. Les résultats sont présentés de la même façon que dans l'outil d'évaluation rapide.

Le dernier volet propose plusieurs pistes d'améliorations des résultats obtenus. Les stratégies proposées et leur présentation sont semblables à l'évaluation rapide. Les résultats et gains potentiels sont toutefois quantifiés, dans cette évaluation, sur base des données personnalisées entrées par l'utilisateur dans les formulaires « transport » et « logement ».

6.2.2.3. L'évaluation d'un quartier



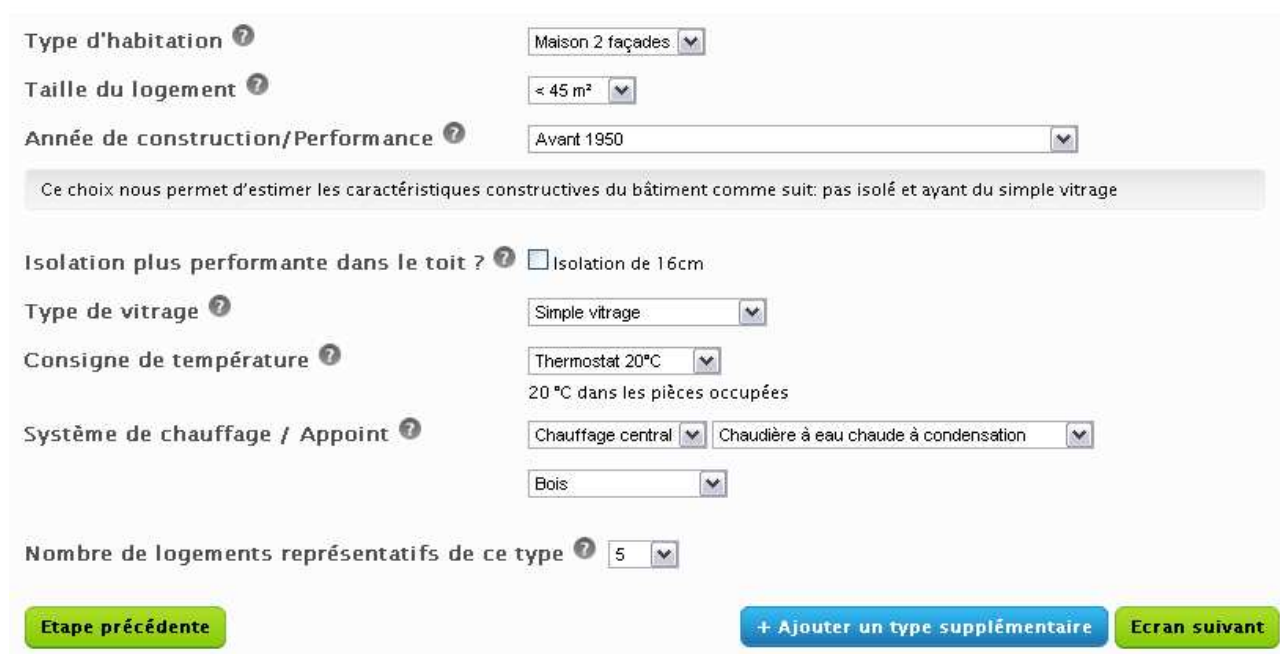
L'outil d'évaluation d'un quartier permet de réaliser une évaluation énergétique de tout un quartier, en ce qui concerne les consommations énergétiques relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école de ses habitants et les consommations pour le chauffage des bâtiments du quartier. Cet outil s'adresse principalement aux professionnels de la construction et de l'aménagement du territoire désireux d'estimer de façon rapide les consommations énergétiques d'un quartier existant, en projet ou soumis à rénovation (rénovation énergétique, densification, etc.) et d'obtenir quelques pistes d'améliorations concrètes et chiffrées.

Pour le volet « transport », il convient de renseigner dans le formulaire la commune et l'ancienne commune dans laquelle se situe le quartier, puis de préciser la composition du quartier (nombre de travailleurs et d'élèves). La méthode de calcul est similaire à celle utilisée dans l'évaluation individuelle rapide et présentée ci-dessus.

La page de résultats « transport » présente d'abord les consommations et émissions de CO₂ annuelles relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école des habitants du quartier. La contribution des déplacements domicile-travail et celle des déplacements domicile-école sont identifiées. Ces calculs sont réalisés sur base des mêmes hypothèses que celles présentées dans l'évaluation individuelle rapide.

Pour le volet « logement », le formulaire propose de rentrer au maximum 4 types de logement pour composer son quartier. Chaque type est introduit à tour de rôle dans un formulaire qui lui est propre et est défini en choisissant le type d'habitation, la taille de celle-ci, son année de construction ou sa performance sous forme de standard, si l'isolation du toit a été renforcée, le type de vitrage, la consigne de température, le système de chauffage ou l'appoint et pour finir le nombre de logements représentatifs de ce type.

La page de résultat « logement » présente, sous forme de graphe les consommations totales de chauffage et de ventilation ainsi que les consommations totales en énergie primaire de l'ensemble du quartier. Celles-ci sont comparées à un ensemble de cas réferents, correspondant aux cas types introduits et constituant ce même quartier en supposant que celui-ci a été construit en 2011. Chaque type de bâtiment est ensuite repris un à un de manière à mettre en évidence l'impact de chacun des bâtiments de manière individuelle. Ce quartier est ensuite comparé aux consommations de ce même quartier mais si les différents types avaient tous un niveau de performance basse énergie, très basse énergie et passif.



Type d'habitation ? Maison 2 façades ▼

Taille du logement ? < 45 m² ▼

Année de construction/Performance ? Avant 1950 ▼

Ce choix nous permet d'estimer les caractéristiques constructives du bâtiment comme suit: pas isolé et ayant du simple vitrage

Isolation plus performante dans le toit ? ? ☐ Isolation de 16cm

Type de vitrage ? Simple vitrage ▼

Consigne de température ? Thermostat 20°C ▼
20 °C dans les pièces occupées

Système de chauffage / Appoint ? Chauffage central ▼ Chaudière à eau chaude à condensation ▼
Bois ▼

Nombre de logements représentatifs de ce type ? 5 ▼

Etape précédente + Ajouter un type supplémentaire Ecran suivant

Figure 50 : Formulaire « logement » de l'évaluation d'un quartier : jusque 4 types de logements différents peuvent être renseignés.

Le troisième volet de l'évaluation d'un quartier concerne la comparaison des consommations de chauffage et de ventilation avec celles relatives aux déplacements des habitants du quartier. La présentation de ces résultats est la même que dans les deux outils d'évaluation précédents mais les résultats présentés concernent l'ensemble d'un quartier.

Le dernier volet de l'évaluation présente plusieurs scénarios d'améliorations des résultats obtenus. La présentation des scénarios d'amélioration et la quantification des gains potentiels obtenus sont présentés de la même façon que dans les deux outils d'évaluation précédents mais concernent maintenant le quartier.

6.2.2.4. Les limites des évaluations proposées

Nous attirons l'attention des utilisateurs des outils d'évaluation sur une série de limitations. Les outils développés sont basés sur des méthodes mises en place, testées et publiées (voir la section sur la diffusion des résultats de la recherche dans la littérature internationale) mais, comme tout travail scientifique, ces méthodes et outils sont valables pour des hypothèses et conditions déterminées. Celles-ci sont présentées dans les fiches pratiques SAFE.MOB.01 et SAFE.BAT.02.

En ce qui concerne le transport, les méthodes proposées présentent l'avantage de pouvoir quantifier les consommations d'énergie et émissions de CO₂ relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école d'un ménage. La comparaison consommations d'énergie et émissions de CO₂ dans les secteurs du transport des personnes et du logement (chauffage du bâtiment) est ainsi possible. Les méthodes proposées sont paramétrées ce qui permet d'évaluer différents scénarios d'amélioration en adaptant les paramètres adéquats (distance parcourue, performance des véhicules, etc.). Toutefois, il convient de remarquer les limitations suivantes et d'y être attentifs lors de l'étude des résultats proposés sur le site :

- Nos outils d'évaluation ne prennent actuellement en compte que deux motifs de déplacements (domicile-travail et domicile-école) alors qu'ils ne constituent qu'une partie de la mobilité journalière d'un ménage. D'autres motifs de déplacements (commerces, loisirs) seront pris en compte et ajoutés aux outils ultérieurement.
- Les outils d'évaluation proposés sont dédiés aux quartiers périurbains. Ils sont applicables en milieu rural ou urbain mais différents facteurs (notamment le taux de remplissage des bus) sont spécifiques au milieu périurbain ce qui est légèrement défavorable au milieu urbain où les bus sont généralement plus remplis.
- L'effet de la congestion n'est pas pris en compte dans nos outils d'évaluation.
- L'évaluation individuelle rapide et l'évaluation à l'échelle d'un quartier se basent sur des données INS et des moyennes régionales (facteurs de consommation et d'émissions) et proposent donc des moyennes calculées à l'échelle de l'ancienne commune. Ces moyennes peuvent parfois s'éloigner significativement des consommations réelles d'un ménage. L'intérêt principal de cet approche est toutefois de pouvoir comparer, pour des hypothèses données, l'efficacité énergétique des déplacements domicile-travail et domicile-école dans plusieurs localisations résidentielles. Nous vous conseillons aussi de tester l'évaluation individuelle détaillée qui permet d'adapter de façon beaucoup plus fine l'évaluation à chaque cas particulier.

En ce qui concerne le logement, l'avantage des résultats présenté est de pouvoir quantifier les consommations d'énergie et émissions de CO₂ relatives aux logements de manière rapide et facile. Cela rend une comparaison des consommations d'énergie et émissions de CO₂ d'un logement avec le transport des personnes. Cependant, rendre accessible aussi facilement et rapidement des résultats relatifs aux bâtiments nécessite d'être attentif et critique face aux résultats proposés dans le site :

- L'outil se base sur des simulations de 12 bâtiments types différents (un 4 façades, un 3 façades et un mitoyen pour 4 tailles différentes) ce qui apporte des résultats qui ne sont pas représentatifs de tous les types de bâtiments et peu représentatifs des cas particuliers ;

- Dans les évaluations, les impacts de la forme urbaine n'ont pas été pris en compte ;
- Peu d'information doivent être introduite ce qui implique une simplification importante des paramètres composant et influant le bâtiment comme la composition des murs, les pourcentages de fenêtre vitrée, etc.

6.2.3. Les fiches pratiques

18 fiches pratiques ont été rédigées dans le cadre de la recherche SAFE. Elles sont disponibles en version web et en version pdf, via le menu horizontal en haut du site. Ces fiches sont classées en quatre thèmes :

- les fiches d'intérêt général (code GEN)
- les fiches qui traitent de l'efficacité énergétique du logement (code BAT)
- les fiches qui traitent de l'efficacité énergétique des déplacements (code MOB)
- les fiches qui abordent l'échelle du quartier (code QUA)

A chaque fiche, sont attribués un ou plusieurs « labels » qui permettent une recherche par mots-clés. Le contenu de chacune des fiches est rapidement présenté ci-dessous. L'ensemble des fiches pratiques sont disponibles en annexe de ce rapport.

6.2.3.1. SAFE.GEN.01 : Le projet de recherches SAFE

Le projet de recherches SAFE consiste en une modélisation énergétique globale des quartiers périurbains wallons en phase d'utilisation et sur toute la durée de leur cycle de vie. L'originalité principale de la recherche est d'aborder conjointement consommations énergétiques des bâtiments et du transport des personnes et, à proposer sur cette base, les stratégies de renouvellement périurbain les plus adaptées. La fiche présente le contexte de la recherche, les partenaires et les différentes phases de travail.

6.2.3.2. SAFE.GEN.02 : L'étalement urbain - qu'est-ce que c'est ?

Le projet SAFE porte sur l'évaluation énergétique des quartiers périurbains wallons et sur la formalisation et l'évaluation de scénarios de renouvellement de ces tissus. Il convient d'abord de poser les bases de la recherche et de définir de façon précise son objet. La présente fiche dresse ainsi un état de l'art de la littérature relative à l'étalement urbain. Les spécificités de la périurbanisation en Région Wallonne (Belgique) sont ensuite abordées. La fiche rappelle, en conclusions, les principaux enjeux et challenges de l'étalement urbain.

6.2.3.3. SAFE.GEN.03 : Le projet SOLEN

Le projet de recherches SOLEN (SOLutions for Low Energy Neighbourhoods) porte sur le développement de solutions visant à améliorer l'efficacité énergétique globale des quartiers résidentiels wallons existants, tant en ce qui concerne le bâti que la mobilité, ainsi qu'à y favoriser l'intégration des énergies renouvelables, dans le but de tendre vers les objectifs « quartiers à (très) basse énergie » et « zéro énergie ». Il s'inscrit dans la continuité du projet de recherches SAFE (www.safe-energie.be) qui a traité de l'efficacité énergétique des quartiers périurbains wallons. Il vise à préciser et étendre les méthodes et outils développés dans SAFE à l'ensemble des quartiers résidentiels wallons, quelque soit leur type (urbain, rural, etc.). Le projet SOLEN est financé par la Région wallonne dans le cadre du programme mobilisateur ERable. Il

débutera en mai 2012.

6.2.3.4. SAFE.BAT.01 : Comment choisir son logement

Le choix d'un logement est une étape cruciale pour laquelle une réflexion globale doit être portée sur le développement d'un projet au caractère le plus durable possible. Cela débute par le choix d'un terrain à bâtir ou d'un terrain déjà construit ce qui orientera soit vers un processus de construction soit vers un processus de rénovation. Le lieu d'implantation va influencer énormément le mode de vie des habitants et leur impact sur l'environnement. Pour choisir de manière durable, il faut envisager l'habitation dans sa globalité tant d'un point de vue énergétique du bâtiment que de celui de l'environnement existant. La certification sur les performances énergétiques des bâtiments (PEB) permet d'établir des comparaisons entre les différents bâtiments. Il donne un avis et permet de savoir les points faibles du bâtiment.

6.2.3.5. SAFE.BAT.02 : Comment sont calculées les consommations relatives au logement dans l'outil SAFE.

L'outil interactif (www.safe-energie.be) développé dans le cadre du projet SAFE (Suburban Areas Favoring energy efficiency) doit permettre à différentes catégories d'utilisateurs d'évaluer les consommations énergétiques relatives à leurs déplacements et au chauffage de leur habitation, à comparer ces deux postes et à trouver des pistes d'amélioration concrètes et une quantification des gains énergétiques potentiels relatifs à plusieurs stratégies. L'outil interactif comprend trois outils d'évaluation distincts : une évaluation individuelle rapide, une évaluation individuelle détaillée et une évaluation à l'échelle de tout un quartier. Cette fiche présente les méthodes et paramètres pris en compte pour évaluer les consommations énergétiques relatives au chauffage et à la ventilation des bâtiments dans ces trois outils d'évaluation.

6.2.3.6. SAFE.BAT.03 : La rénovation : quelles démarches suivre?

Les quartiers périurbains ont un énorme potentiel de rénovation. Celle-ci, dans la majorité des cas, peut atteindre facilement d'excellents niveaux de performance. Lors d'une rénovation, un équilibre devra être trouvé entre les objectifs énergétiques que veulent atteindre les propriétaires et le budget qu'ils comptent allouer à ces travaux. La particularité de la rénovation est que la construction existante est déjà définie par ses caractéristiques. Il est important de pouvoir les identifier, afin de préserver, accentuer ou minimiser certaines propriétés physiques et dynamiques, comme l'inertie, l'étanchéité, l'isolation, la ventilation, la présence de ponts thermiques. Une rénovation globale passe aussi par une réflexion sur son environnement.

6.2.3.7. SAFE.BAT.04 : L'amélioration des ouvertures ou la valorisation des sources lumineuses

Une rénovation durable va de pair avec une conception soucieuse des économies d'énergie et du bien-être de ses occupants. Dans cette optique, la valorisation des sources lumineuses doit accompagner cette démarche de rénovation. Comme la lumière naturelle est celle qui amène le plus de confort à l'occupant, l'éclairage naturel des espaces doit être favorisé à la lumière artificielle prévue pour le compléter en cas d'insuffisance et lorsque le soleil est couché. La rénovation est aussi une occasion de modifier les baies existantes, les châssis, les vitrages, d'ajouter des protections solaires,... La conception des fenêtres doit se faire en fonction du milieu où s'implante le bâtiment : orientation, pourcentage d'ouverture des baies, exposition au vent, etc. doivent être pris en compte.

6.2.3.8. SAFE.BAT.05 : La rénovation par l'isolation : un des choix les plus porteurs en termes d'économies d'énergie

La rénovation d'un bâtiment par l'ajout d'isolation au niveau de ses parois consiste en l'un des choix les plus porteurs en terme d'économies d'énergie ! Cette démarche est également une des plus durables car elle permet une diminution de la consommation énergétique. Or 64 % des bâtiments en Région wallonne ne sont pas du tout isolés et vu les surfaces en contact avec l'extérieur, les murs d'un bâtiment représentent l'endroit principal des déperditions thermiques de l'enveloppe. Cette fiche aborde les différentes techniques d'isolation appliquée en rénovation à savoir l'isolation par l'extérieur, par l'intérieur et par le remplissage de la coulisse, dans le cas de murs creux. Elle met également en avant leurs avantages et inconvénients, des erreurs à ne pas commettre en rénovation ainsi que des points importants à ne pas négliger.

6.2.3.9. SAFE.BAT.06 : L'impact du comportement des occupants

L'influence de la composition du ménage, son évolution à travers le cycle de vie d'un logement et le comportement des occupants qui évoluent au fil du temps alors que la maison garde une taille fixe et inchangée, sont des paramètres qui ont un impact sur la facture énergétique d'un ménage et qui doivent être pris en compte lors d'une rénovation.

6.2.3.10. SAFE.BAT.07 : Les systèmes de ventilation énergétique

Une bonne ventilation hygiénique dans un logement est essentielle et permet de renouveler l'air vicié des pièces afin de maintenir une bonne qualité d'air à l'intérieur du logement et d'en évacuer l'humidité issue des activités quotidiennes des habitants. Dans un bâtiment, les pertes énergétiques sont dues principalement à trois interactions entre l'intérieur et l'extérieur : pertes par transmission (au travers des parois), pertes par ventilation, et pertes par les infiltrations d'air. Si le bâtiment devient très étanche, ces pertes diminuent et l'humidité s'accumule or cette dernière doit être absolument évacuée d'où l'intérêt d'introduire un système de ventilation. En rénovation il est à présent courant d'intégrer des ventilations mécaniques avec récupérateur de chaleur. Cette fiche fait le point sur les différents types de ventilation existant.

6.2.3.11. SAFE.BAT.08 : Les systèmes et énergies renouvelables

Cette fiche présente un bref aperçu des différents systèmes et des différentes énergies renouvelables applicables aux logements. En effet, l'intégration de systèmes et/ou d'énergies renouvelables lors de la construction d'une habitation doit donner lieu à une réflexion en fonction des demandes exactes d'énergie du bâtiment, des potentiels de l'implantation et du terrain, de la volonté d'investir dans des systèmes plus ou moins coûteux, etc. De même lors d'une rénovation une même réflexion devra souvent se développer suite à un travail de réisolation car si les performances du bâtiment sont améliorées énergétiquement, la demande de chauffage va également diminuer et cela peut influencer le remplacement ou non des systèmes déjà mis en place. Cette fiche aborde également les différents potentiels des énergies renouvelables : celles fournissant de la chaleur pour le chauffage des maisons, et de l'eau chaude sanitaire ou encore celles produisant de l'électricité.

6.2.3.12. SAFE.BAT.09 : Les analyses en cycle de vie (ACV) : Introduction au cycle de vie d'un bâtiment

L'analyse en cycle de vie (ACV) est un outil développé initialement pour l'industrie. L'ACV a pour but de quantifier les impacts d'un produit, bien ou service depuis l'extraction des matières

premières qui sont nécessaires à sa fabrication jusqu'à son élimination en fin de vie en passant par la phase d'utilisation (« du berceau à la tombe »). La série de normes ISO 14040 et 14044 décrit la méthodologie et la déontologie que doivent respecter les études ACV. Cette fiche propose une introduction à l'analyse en cycle de vie appliquée au bâtiment ainsi que les spécificités et limites de cette approche. Une analyse en cycle de vie d'un bâtiment périurbain type est proposé afin d'illustrer ces propos.

6.2.3.13. SAFE.MOB.01 : Comment sont calculées les consommations relatives au transport dans l'outil SAFE

L'outil interactif (www.safe-energie.be) développé dans le cadre du projet SAFE (Suburban Areas Favoring energy efficiency) doit permettre à différentes catégories d'utilisateurs d'évaluer les consommations énergétiques relatives à leurs déplacements et au chauffage de leur habitation, à comparer ces deux postes et à trouver des pistes d'amélioration concrètes et une quantification des gains énergétiques potentiels relatifs à plusieurs stratégies. L'outil interactif comprend trois outils d'évaluation distincts : une évaluation individuelle rapide, une évaluation individuelle détaillée et une évaluation à l'échelle de tout un quartier. La présente fiche présente les méthodes développées pour calculer les consommations énergétiques relatives aux déplacements des personnes (domicile-travail et domicile-école) dans ces trois outils d'évaluation.

6.2.3.14. SAFE.MOB.02 : Consommations d'énergie pour le transport et structure du territoire

La fiche présente l'indice de localisation développé dans le cadre du projet SAFE (voir fiche SAFE.MOB01). Cet indice a été calculé pour chaque commune, ancienne commune et secteur statistique de la Région wallonne. Il est exprimé en kWh/personne.trajet et permet de comparer différentes localisations résidentielles sur base de leurs consommations d'énergie pour les déplacements. La cartographie de cet indice de localisation met en évidence des liens étroits entre consommations d'énergie pour les déplacements (travail et école) et structure du territoire. Une comparaison entre les consommations relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école est proposée. L'évolution 1991-2001 est discutée. Les principaux paramètres qui influent sur ces consommations énergétiques sont enfin étudiés.

6.2.3.15. SAFE.MOB.03 : Comment réduire vos consommations d'énergie relatives au transport

L'outil interactif (www.safe-energie.be) développé dans le cadre du projet SAFE permet notamment à différentes catégories d'utilisateurs d'évaluer les consommations d'énergie relatives à leurs déplacements domicile-travail et domicile-école. Dans le dernier onglet des outils d'évaluation présents sur le site web, des pistes d'amélioration sont proposées et les gains potentiels relatifs à plusieurs scénarios sont quantifiés. Cette fiche présente les différents scénarios qui ont été abordés, les hypothèses qui les sous-tendent et les résultats obtenus. Six types de scénarios ont été investigués : la localisation, les distances parcourues, les performances des véhicules, le report modal, le covoiturage et le télé-travail. Les gains énergétiques potentiels sont présentés, à titre d'exemple, pour 4 quartiers périurbains wallons.

6.2.3.16. SAFE.QUA.01 : Vers une définition et une typologie des quartiers périurbains wallons

Le projet de recherches SAFE traite de l'évaluation énergétique des quartiers périurbains. L'objet de cette fiche est, dans ce cadre, de proposer une définition du territoire périurbain wallon adaptée à des études de type morphologique (étude des consommations énergétiques des bâtiments et quartiers, études d'ensoleillement, etc.). Cette définition se développe sur base de trois critères : la faible densité, la discontinuité spatiale avec les espaces centraux historiques et la monofonctionnalité (quartiers résidentiels). Une typologie des quartiers périurbains wallons est ensuite proposée et permet d'identifier quatre types principaux de quartiers périurbains wallons. La typologie est enfin confrontée à nos outils d'analyse (outils d'analyse des consommations d'énergie relative au transport et au chauffage des bâtiments) pour tester son applicabilité.

6.2.3.17. SAFE.QUA.02 : La forme urbaine et les consommations d'énergie des quartiers périurbains

L'efficacité énergétique à l'échelle du bâtiment a fait l'objet de plusieurs fiches pratiques. Elles abordent notamment l'influence des caractéristiques constructives, du climat ou du mode de vie des occupants sur les consommations énergétiques. Des variations paramétrées ont été réalisées pour plusieurs bâtiments-types. La présente fiche complète cette approche et présente les variations paramétrées réalisées à l'échelle du quartier. Il s'agit de déterminer, de façon théorique, l'influence des paramètres caractérisant la forme urbaine sur la consommation énergétique des quartiers périurbains existants. Trois paramètres sont traités : la continuité entre les bâtiments, l'orientation et la consommation des bâtiments en phase d'utilisation.

6.2.3.18. SAFE.QUA.03 : Le parc de logement wallon : présentation, évaluation et approche de son évolution

La Belgique se trouve actuellement dans un tournant stratégique concernant l'utilisation rationnelle de l'énergie avec l'introduction de la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) qui va l'obliger à remédier à certains de ses manques en la matière. En Région wallonne, 70% du parc date d'avant la première crise pétrolière et 45% date d'avant la Seconde Guerre mondiale. Le parc est donc assez vieux et par conséquent très peu performant énergétiquement. L'évolution de ce parc pose question et c'est pourquoi, cette fiche propose une approche qui envisage différents scénarios de rénovation impliquant des mesures locales et des mesures globales. Différents scénarios d'évolution du parc sont également abordés sur une période allant de 2011 à 2051.

6.3. Conclusions

La présente section a présenté l'outil interactif développé pour valoriser les résultats du projet de recherches SAFE (www.safe-energie.be) et favoriser l'accès à un grand nombre d'acteurs du territoire, y compris le citoyen, aux résultats d'une recherche scientifique de pointe, ayant fait l'objet de plusieurs publications scientifiques internationales. Il s'inscrit ainsi résolument dans une démarche de développement durable. Il valorise et vulgarise également une partie de la recherche en matière d'énergie financée et réalisée en Région wallonne.

L'outil est voué à évoluer : il sera notamment enrichi par les résultats du projet de recherches SOLEN qui débute en mai 2012 (durée de 2 ans). Ce projet porte sur le développement de

solutions visant à améliorer l'efficacité énergétique globale des quartiers résidentiels wallons existants, tant en ce qui concerne le bâti que la mobilité, ainsi qu'à y favoriser l'intégration des énergies renouvelables, dans le but de tendre vers les objectifs « quartiers à (très) basse énergie » et « zéro énergie ». Il vise à préciser et étendre les méthodes et outils développés dans SAFE à l'ensemble des quartiers résidentiels wallons, quelque soit leur type (urbain, rural, etc.).

7. Diffusion des résultats de la recherche

La diffusion et la valorisation des résultats d'une recherche scientifique sont des étapes importantes qui permettent d'une part de confronter le travail réalisé à ses pairs et d'autre part de le vulgariser et le rendre accessible à un large public, dans une optique globale de sensibilisation des citoyens et acteurs de l'aménagement du territoire aux questions énergétiques. La diffusion des résultats du projet de recherches SAFE a ainsi ciblé trois types de public différents, via trois canaux distincts : la publication scientifique, l'organisation de deux séminaires et la vulgarisation scientifique vers le grand public et les acteurs locaux. Les actions entreprises et les résultats engendrés sont présentés dans les trois sections qui suivent.

7.1. Les publications scientifiques

Les versions complètes des articles présentés ci-dessous sont disponibles sur le répertoire bibliographique de l'Université de Liège ORBI (orbi.ulg.ac.be), au nom de Anne-Françoise Marique ou Sigrid Reiter.

7.1.1. Articles dans des revues internationales avec peer-reviewing

Marique, A.-F., & Reiter, S. (2012). A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. *Environmental Impact Assessment Review*, 33, 1-6.

Cet article présente la méthode développée pour évaluer les consommations énergétiques relatives au transport des personnes et son application à quatre cas. Il présente ensuite une série de variations paramétrées visant à mettre en évidence les stratégies les plus efficaces pour réduire les consommations relatives au transport. Ces stratégies abordent la localisation des quartiers, les distances parcourues, les performances des véhicules, le télé-travail et le report modal.

Marique, A.-F., & Reiter, S. (2012). A Method to Evaluate the Energy Consumption of Suburban Neighbourhoods. *HVAC&R Research*, 18(1-2), 88-99.

Cet article présente la méthode développée pour évaluer les consommations énergétiques globales (bâtiment + transport + éclairage public) des quartiers périurbains wallons. Il présente ensuite une application de cette méthode à trois quartiers et une série de variations paramétrées visant à mettre en évidence les stratégies les plus efficaces à l'échelle du quartier. Ces stratégies abordent l'isolation des bâtiments, la forme urbaine, la localisation des quartiers et le comportement des occupants.

Rossi, B., Marique, A.-F., Glaumann, M., & Reiter, S. (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. *Building & Environment*, 51, 395-401.

Cet article aborde l'analyse en cycle de vie des bâtiments. Il développe une méthode (basic tool) d'analyse en cycle de vie applicable à l'échelle du bâtiment individuel. Cet outil permet d'évaluer les consommations d'énergie et les émissions de CO₂. La méthode est calibrée et comparée avec un outil d'analyse en cycle de vie existant. Une application concernant la comparaison de deux systèmes constructifs (béton et acier) est proposée.

Rossi, B, Marique, A.-F, & Reiter, S. (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. *Building & Environment*, 51, 402-407.

Cet article fait suite au précédent et propose quelques applications pratiques de l'outil développé. L'impact en cycle de vie d'un bâtiment périurbain (maison 4 façades) est étudié dans trois localisations différentes (Belgique, Suède et Portugal) et pour deux systèmes constructifs (béton et acier). L'impact du mix énergétique et de mesures locales est investigué.

7.1.2. Articles de conférences avec peer-reviewing et publication dans les actes

Marique, A.-F, Petel, M, Hamdi, A, & Reiter, S. (2012). Combining Territorial Data With Thermal Simulations to Improve Energy Management of Suburban Areas. *Proceedings of GEOProcessing 2012*, Valence, Spain.

Cet article présente une définition de l'étalement urbain adaptée à des études et analyses de type morphologiques. Il présente ensuite l'élaboration d'une typologie de quartiers et bâtiments périurbains à l'aide d'un système d'information géographique. Une étude de cas, traitant de l'efficacité de quelques politiques de rénovation énergétique est proposée pour démontrer l'intérêt de l'approche présentée.

Marique, A.-F, & Reiter, S. (2011). Improving energy efficiency of existing suburban areas through district energy planning. *Proceedings of ISHVAC 2011*, Shanghai, China.

Cet article aborde les scénarios de renouvellement de quartiers périurbains. Il traite en particulier de trois stratégies : la rénovation énergétique du bâti, la densification raisonnée des quartiers existants et le recours à des énergies renouvelables (solaire), en lien avec la localisation des quartiers.

Marique, A.-F, De Meester, T, & Reiter, S. (2011). Energy requirements and solar availability in suburban areas: the influence of built density in an existing district. *Proceedings of the International Conference CISBAT 2011 - Clean Tech for sustainable buildings - From Nano to urban scale* (2011) (pp. 925-30), Lausanne, Suisse.

Cet article aborde les scénarios de renouvellement de quartiers périurbains. Il traite en particulier de trois stratégies : la rénovation énergétique du bâti, la densification raisonnée des quartiers existants et le recours à des énergies renouvelables (solaire).

Marique, A.-F, Dujardin, S, Teller, J, & Reiter, S. (2011). Urban Sprawl and Travel Energy Consumption: the Case of the Walloon Region of Belgium. *Irish Transport Research Network Conference, Energy & Transport, Programme and Proceedings*, Cork, Ireland.

Cet article aborde les liens entre structure du territoire (en particulier l'impact de l'étalement urbain) sur les consommations d'énergie pour les déplacements domicile-travail et domicile-école, pour l'ensemble du territoire de la région wallonne. Il démontre l'intérêt d'aussi considérer une approche locale lors de l'analyse des consommations relatives au transport.

* Cet article a reçu le best paper dans la catégorie « greening transport » et a été sélectionné par le comité scientifique de la conférence pour publication dans une édition thématique de la revue *Proceedings of ICE – Energy* (voir article en cours de procédure ci-dessous).

Marique, A.-F., & Reiter, S. (2011). Towards more sustainable neighborhoods: are good practices reproducible and extensible? In B. M., Evrard Arnaud (Ed.), *Proceedings of International Conference PLEA 2011: Architecture & Sustainable Development* (pp. 27-32). Presses Universitaires de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique.

Cet article aborde les quartiers durables. Au départ de l'analyse de huit quartiers durables « exemplaires » souvent présentés comme « bonne pratique », il établit une grille de lecture des principales caractéristiques de ces quartiers et dresse un bilan critique des expériences étudiées. Sur base d'une comparaison entre ces expériences et un projet urbain liégeois, il étudie les conditions de reproductibilité des quartiers durables.

Wallemacq, V., Marique, A.-F., & Reiter, S. (2011). Development of an urban typology to assess residential environmental performance at the city scale. In B. M., Evrard Arnaud (Ed.), *Proceedings of International Conference PLEA 2011 : Architecture & Sustainable Development* (pp. 119-125). Presses Universitaires de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique.

Cet article aborde le développement d'une typologie de logement et îlots résidentiels, à l'échelle de la ville. Cette typologie est développée pour permettre l'analyse des consommations énergétiques des bâtiments résidentiels à l'échelle d'une ville ou d'une région urbaine. Le transport est aussi pris en considération.

de Meester, T., Marique, A.-F., & Reiter, S. (2011). The influence of occupation modes on building heating loads: the case of a detached house located in a suburban area. In B. M., Evrard Arnaud (Ed.), *Proceedings of International Conference PLEA 2011 : Architecture & Sustainable Development* (pp. 450-456). Belgique: Presses Universitaires de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique.

Cet article traite de l'impact du comportement des usagers sur les consommations d'énergie pour le chauffage d'un bâtiment périurbain (maison « 4 façades »). Il traite en particulier de l'impact de trois paramètres (la gestion de la consigne de température, le mode d'occupation de la maison en lien avec la taille de la famille et la superficie chauffée) pour sept niveaux d'isolation.

Rossi, B., Marique, A.-F., & Reiter, S. (2011). Life-cycle carbon footprint of a residential steel framed building in different climates. *World Sustainable Building Conference: SB11*, Helsinki 18-21 October 2011 (pp. 118-119).

Cet article aborde l'analyse en cycle de vie d'un bâtiment résidentiel périurbain (« 4 façades ») construit en acier, selon trois localisations différentes (Belgique, Suède et Portugal).

Marique, A.-F., & Reiter, S. (2010). A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighborhood scale. *Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in buildings*, Syracuse, USA.

Cet article présente la méthode développée pour évaluer les consommations d'énergie globales (logement + bâtiment + éclairage public) des quartiers périurbains et son application sur trois quartiers.

* Cet article a été sélectionné par le comité scientifique de la conférence pour être soumis, dans une version étendue, à la revue HVAC&R Research (voir articles dans des revues internationales avec peer-reviewing, ci-dessus).

Marique, A.-F. & Reiter, S. (2010). A method to assess transport consumptions in suburban areas. Paper presented at Managing the Urban Rural Interface. Strategies and tools for Urban Development and Sustainable Peri-Urban Land Use Relationships (PLUREL), Copenhagen, Denmark.

Cet article présente la méthode développée pour évaluer les consommations d'énergie relatives aux déplacements des personnes dans les quartiers périurbains et son application à quatre cas d'étude.

* Cet article a donné lieu, dans une version étendue, à un article scientifique publié dans la revue Environmental Impact Assessment Review (voir articles dans des revues internationales avec peer-reviewing, ci-dessus).

7.1.3. Articles en cours de procédure

Marique, A.-F., de Meester, T & Reiter, S. An online interactive tool for the energy assessment of residential buildings and transportation.

Cet article présente l'outil interactif développé dans le cadre de la recherche SAFE. Il a été soumis le 27 avril 2012 pour la conférence PLEA 2012, Towards an environmentally responsible architecture. La procédure de sélection est en cours.

de Meester, T, Marique, A.-F. & Reiter, S. Impacts of occupants behaviors on residential heating consumption.

Cet article aborde l'impact du comportement des occupants sur les consommations d'énergie pour le chauffage d'une maison "4 façades". Il sera soumis prochainement à une revue scientifique internationale.

Reiter, S. & Marique, A.-F. Towards low energy cities: a case study on the urban area of Liège

Cet article aborde l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels et du transport des personnes à l'échelle urbaine. Il étudie l'impact, en termes de réduction des consommations d'énergie de plusieurs scénarios relatifs au bâtiment et au transport, à l'horizon 2050, sur base d'une application à l'aire urbaine de Liège. Cet article a été soumis à la revue scientifique internationale Journal of Industrial Ecology. La procédure de reviewing est en cours.

Marique, A.-F., Dujardin, S., Teller, J. & Reiter, S. Urban sprawl, commuting and travel energy consumption.

Cet article fait suite à l'article présenté lors de la conférence ITRN à Cork (voir ci-dessus). L'article présenté lors de cette conférence a reçu le best paper dans la catégorie « greening transport » et a été sélectionné par le comité scientifique de la conférence pour être soumis à la revue Proceedings of ICE – Energy. Cet article aborde les liens entre structure du territoire (en particulier l'impact de l'étalement urbain), sur les consommations d'énergie pour les déplacements domicile-travail et domicile-école, pour l'ensemble du territoire de la région wallonne. Il démontre l'intérêt d'aussi considérer une approche locale lors de l'analyse des consommations relatives au transport. La procédure de reviewing est en cours.

Marique, A.-F., Dujardin, S., Teller, J. & Reiter, S. School commuting: the relationship between energy consumption and urban form.

Cet article aborde la problématique des consommations d'énergie pour les déplacements scolaires et en particulier l'impact de la structure du territoire sur ces consommations. Il détaille

cet impact pour trois niveaux d'éducation (scolaire, secondaire et supérieur). Cet article a été soumis à la revue scientifique internationale Journal of Transport Geography. La procédure de reviewing est en cours.

7.2. Les séminaires SAFE

Deux séminaires de présentation des résultats de la recherche SAFE étaient prévus dans la convention. Ces séminaires, qui ont eu lieu les 26 avril et 8 juin 2012, se sont adressés aux acteurs communaux et régionaux de l'aménagement du territoire et de l'énergie : agents du service public de Wallonie, conseillers en aménagement du territoire, administrations communales, architectes et urbanistes, décideurs politiques, promoteurs, etc. Ils sont organisés en deux parties : la présentation des résultats de la recherche (1h30) et la présentation de l'outil avec cas pratiques (1h30).

Le premier séminaire a rassemblé 25 personnes provenant pour la plupart du SPW. Le second a rassemblé 22 personnes. Deux présentations supplémentaires ont été réalisées par S. Reiter, respectivement aux Guichets de l'Energie et devant les Fonctionnaires Délégués de Wallonie. De fructueuses sessions de questions / réponses ont amené les réflexions suivantes. Elles seront prises en compte, dans la mesure du possible, dans le projet de recherches SOLEN. L'outil interactif sera également mis à jour dans la dernière phase de SOLEN.

- La question de la densification des quartiers existants est un sujet de recherches particulièrement important. Il serait intéressant d'aborder cet aspect à la fois en termes d'acceptabilité sociale par les riverains et en termes de faisabilité opérationnelle (cwatup, resa ter, permis d'urbanisation, relotissement, etc.)
- Le télé-travail est une stratégie intéressante en termes de réduction des consommations pour le transport mais amène une série de questions quant à l'augmentation de la consommation de chauffage des habitants qui travaillent à domicile.
- Les déplacements pour le commerce et les loisirs, les déplacements vers les hopitaux et les déplacements des retraités sont des motifs importants qui génèrent des consommations très importantes. Il conviendrait de voir comment on pourrait les intégrer dans l'outil (cela est en partie possible via l'évaluation détaillée).
- Certains intervenants mentionnent l'intérêt de pouvoir, à l'avenir, mentionner dans les formulaires des cas d'isolation partielle. Cet aspect risque de complexifier l'outil et peut d'ailleurs être pris en compte actuellement, selon le taux d'isolation moyen.
- Il faudrait enrichir l'outil avec d'autres types de logements, en particulier des appartements.
- Certains intervenants souhaitent que les utilisateurs puissent entrer directement le niveau K de l'isolation (pour tous les bâtiments construits après 1996) ou des informations provenant des certificats PEB. Ces éléments font débat car la qualité des formulaires K ou des PEB est inégale. De plus, on risque de comparer des choses non comparables ou non compatibles avec les hypothèses utilisées pour construire notre outil.
- De nombreux intervenants souhaitent pouvoir télécharger l'ensemble des résultats en pdf pour pouvoir les comparer et les sauvegarder (c'est actuellement uniquement possible pour les résultats de la partie transport ou via une imprimante pdf).
- Certains intervenants plaident pour l'intégration dans l'outil de facteurs économiques, comme la possibilité de pouvoir entrer le prix du kWh et aborder la rentabilité (temps de

retour sur investissement) des actions proposées. Il s'agit là, à notre sens, d'une tout autre recherche qui s'écarte des objectifs fixés pour SAFE.

- Il est demandé d'également fournir les résultats en litres de mazout, qui serait un indicateur plus compréhensible pour les utilisateurs que le kWh.
- Un intervenant attire l'attention sur le fait que le gaz (qui est proposé dans les stratégies d'amélioration) n'est pas disponible partout.
- Un intervenant mentionne qu'un des publics-cibles de l'outil développé doit être les pouvoirs publics, notamment dans le cadre plus large de l'aménagement du territoire. Il devrait pouvoir fournir aux autorités publiques des éléments pour décider des zones à urbaniser en fonction de certains critères (proximité d'une gare, consommations attendues, etc.). La révision des plans de secteurs amène aussi une série de réflexions quand aux outils à fournir aux autorités. Ces éléments seront pris en considération par l'équipe du LEMA dans le projet de recherches SOLEN.
- Dans l'absolu, un intervenant s'étonne du paradoxe qui existe entre le fait de déconseiller les systèmes de chauffage électrique dans le bâtiment mais de favoriser les modes de transport basé sur l'électricité (train, tram, voiture électrique). Cet aspect sera étudié par l'équipe du LEMA dans le projet de recherches SOLEN.

7.3. La vulgarisation vers le grand public, les concepteurs et les acteurs locaux

Marique, A.-F., De Meester, T., De Herde, A., & Reiter, S. (2012). Des territoires au projet : le projet de recherche SAFE, Article à paraître dans le numéro 82 (juin 2012) des Cahiers Nouveaux.

Cet article présente le projet de recherche SAFE, ses principales phases et résultats.

Public cible : agents régionaux et communaux, architectes et urbanistes, etc.

Marique, A.-F., De Meester, T., De Herde, A., & Reiter, S. (2011). Le projet de recherches SAFE. HERA - Awards 2011, Bruxelles.

Un poster de présentation du projet SAFE a été présenté lors des journées HERA de la Fondation pour les Générations futures.

Public cible : architectes, urbanistes, étudiants, chercheurs, etc.

Marique, A.-F. (2009). Eco-conception : exemples d'éco-quartiers. Journée d'études : "Eco-construction et développement durable", Liège, Belgique

Reiter, S. (2009). Les principes de l'Eco-conception. Journée d'Etudes : "Eco-construction et développement durable", Liège, Belgique.

Deux communications ont été présentées lors d'une journée d'étude organisée par l'Association des Ingénieurs de l'Université de Liège. Elles traitaient des principes de l'éco-conception et de la présentation d'expériences innovantes en la matière.

Public cible : architectes, ingénieurs bureau d'étude, étudiants, chercheurs, etc.

On remarquera enfin que certains résultats du projet de recherches SAFE et l'outil interactif développé ont été présentés plusieurs fois lors de journées organisées par l'Université de Liège à destination des étudiants de rhétos intéressés par les études d'ingénieur architecte, des étudiants de secondaire et du grand public (Printemps des sciences).

Références

Branders A. (2009). Fiches réalisées dans le cadre du projet LEHR - Low Energy Housing Retrofit, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain, financé par la Politique Scientifique Fédérale, dans le cadre du « Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique », www.lehr.be, 2009.

Delmotte C. (2008). Réglementation sur la performance énergétique des bâtiments : du nouveau à Bruxelles et en Wallonie, C. Delmotte, Les Dossiers du CSTC, N° 4, Cahier n° 1, 2008.

De Herde et Bodart (1994). Les conclusions de Pléiade, De Herde A., Bodart M., Université catholique de Louvain Architecture et Climat, 1994.

energie.wallonie.be, avril 2010.

Energie+ (2010). Energie+ version 6, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain (Belgique) 2010, réalisé avec le soutien de la Wallonie - DGO4 - Département de l'Energie et du Bâtiment Durable. Disponible sur : <http://www.energieplus-lesite.be>

Evrard A. et al. (2012). Vade-mecum – Outils EPEEH, Evaluation du potentiel d'économie d'énergie par type d'habitat wallon, A. Evrard, C. Hermand, A. De Herde, UCL-Architecture et Climat, 2012.

IBGE (2010). Choisir le meilleur mode de production de chaleur, Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, Recommandation pratique ENE 14, IBGE 2010

Kints, C. (2008). La rénovation énergétique et durable des logements wallons. Analyse du bâti existant et mise en évidence des typologies de logements prioritaires, Architecture & Climat, UCL, Ministère de la Région Wallonne (MRW-DGTRE), International Energy Agency, Solar heating & cooling of Task 37 and Federal Science Policy, project LEHR (www.lehr.be).

Langendries D., J.-M. Hauglustaine, F. Renard (2008). Présentation Construire avec l'énergie, Au tournant de la PEB, CSTC-CCW-FPMs-IFAPME-UCL-ULg, Louvain-la-Neuve, Mai 2008.

Massart C., De Herde A. (2010). Conception de maisons neuves durables, Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie, Architecture et Climat – UCL, financé par Service Public Wallonie DG04 Département de l'Energie et du Bâtiment durable, 2010.

NORME D50-001 (2008). NORME NBN D50-001, Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation, Bruxelles, NBN, 2008.

NORME NBN B 62-002, Performances thermiques de bâtiments. Calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) des composants et éléments de bâtiments. Calcul des

coefficients de transfert de chaleur par transmission (valeur HT) et par ventilation (valeur Hv), Bruxelles, NBN, 2008.

PEB (2007). Décret wallon sur la performance énergétique des bâtiments (2007), Annexe I : Méthode de détermination du niveau de consommation d'énergie primaire des bâtiments résidentiels, and Annexe III : Valeurs U maximales admissibles ou valeurs R minimales à réaliser.

Vanneste D. (2007). Enquête socio-économique 2001 monographies : Le logement en Belgique, VANNESTE D., THOMAS I., GOOSSENS L., Editeur responsable : N. DEMEESTER, SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie, Direction générale Statistique et Information économique, Bruxelles 2007

Marique, A-F., Reiter, S.: A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighbourhood scale. Proc. of the 7th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in buildings - IAQVEC, Syracuse, 2010.

da Silva, A., Costa, G., Brondino, N.: Urban sprawl and energy use for transportation in the largest Brazilian cities, Energy for Sustainable Development, Vol 11, pp 44-50, 2007

Popovici, E., Peuportier. B.: Using life cycle assessment as decision support in the design of settlements. Proc. of the 21th PLEA Conference on Passive and Low Energy Architecture - PLEA, Eindhoven, The Netherlands, 2004.

MRW.: Guide d'urbanisme pour la Wallonie. Ministère de la Région wallonne, 2004.

Compagnon, R.: Solar and daylight availability in the urban fabric, Energy and Buildings, Vol 36, pp 321-328.

Annexe I : Les fiches pratiques

Général



Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand Public



Général



SAFE.GEN01

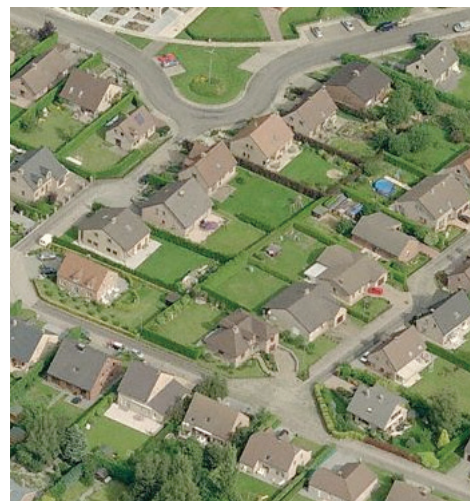
Présentation du projet de recherches SAFE (Suburban Areas Favoring Energy efficiency)

Objectifs du projet

- Etudier les consommations énergétiques des logements et quartiers périurbains wallons existants
- Coupler consommations d'énergie pour le chauffage des bâtiments et pour le transport des personnes
- Développer des méthodes de pointe adaptables à d'autres contextes et régions
- Mettre en évidence les stratégies de renouvellement les plus adaptées à chaque cas
- Proposer des résultats clairs et utiles pour tous les acteurs du territoire, y compris le citoyen via la création d'un outil interactif accessible sur le Web (www.safe-energie.be)

Résumé

L'étalement urbain monofonctionnel et peu dense au-delà des limites de la ville traditionnelle constitue un des phénomènes majeurs de l'évolution des territoires depuis la révolution industrielle. Ce phénomène est particulièrement important en Région wallonne, où de nombreux lotissements peu denses se sont développés depuis un demi-siècle. Dans ce contexte, le projet de recherches SAFE porte sur l'évaluation énergétique des logements et des quartiers périurbains wallons existants dans le but d'en améliorer l'efficacité énergétique globale et sur le développement de nouveaux modes de conception et de planification de ces tissus. La recherche consiste en une modélisation énergétique globale des quartiers périurbains en phase d'utilisation et sur toute la durée de leur cycle de vie. Elle aborde à la fois le bâtiment et le transport des personnes.



© Copyright - <http://www.bing.com/maps/>.

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Septembre 2011



Le projet SAFE

Le projet de recherches SAFE consiste en une modélisation énergétique globale des quartiers périurbains wallons en phase d'utilisation et sur toute la durée de leur cycle de vie. L'originalité principale de la recherche est d'aborder conjointement consommations énergétiques des bâtiments et du transport des personnes et, à proposer sur cette base, les stratégies de renouvellement périurbain les plus adaptées. L'objectif concret de la recherche est de fournir un outil informatique accessible sur le web (www.safe-energie.be) qui permette d'évaluer l'efficacité énergétique des logements et quartiers périurbains existants et de tester différents scénarios de renouvellement.

1 Contexte et enjeux

L'étalement urbain monofonctionnel et peu dense au-delà des limites de la ville traditionnelle constitue un des phénomènes majeurs de l'évolution des territoires depuis la révolution industrielle. Ce phénomène est particulièrement important en Région wallonne où de nombreux lotissements peu denses se sont développés depuis plus d'un demi-siècle, souvent en discontinuité avec les noyaux existants. La dispersion de l'habitat touche tous les domaines de notre développement en augmentant les tendances à la ségrégation sociale, les frais pour la collectivité pour la construction et l'entretien des réseaux, une dépendance forte à l'automobile, etc. L'étalement urbain a ainsi été identifié par l'Agence Européenne pour l'Environnement (EEA) comme un problème majeur en termes de développement durable. Dans ce contexte, le projet de recherches SAFE porte sur l'évaluation énergétique des logements et quartiers résidentiels périurbains wallons existants dans le but d'en améliorer l'efficacité énergétique globale. Il aborde aussi le développement de nouveaux modes de conception et de planification des tissus périurbains. Le projet est planifié sur une période de 3 ans (février 2009 – janvier 2012) et est structuré autour de cinq phases principales dont les principaux objectifs et résultats sont proposés dans cette fiche pratique.

2. Les partenaires

Le projet SAFE est réalisé, en collaboration, par deux laboratoires de recherches universitaires : le LEMA (Université de Liège / coordinateur) et Architecture et Climat (Université catholique de Louvain). Les deux partenaires sont actifs dans la recherche en architecture et en urbanisme. Ils ont tous deux une grande expertise de recherches sur l'efficacité énergétique du milieu bâti. Le LEMA est spécialisé dans la modélisation des fragments urbains (y compris la mobilité), l'étude de la ville, l'aménagement du territoire et le développement d'outils d'aide à la décision. Architecture et Climat a développé des compétences poussées en matière d'efficacité énergétique à l'échelle des bâtiments (y compris ses systèmes) et le développement d'outils d'aide à la conception et de sensibilisation ; ses recherches sont essentiellement centrées sur l'échelle du bâtiment.

3. Le financement

Le projet SAFE est financé par la Région wallonne dans le cadre du programme mobilisateur Energywall.





Les phases principales de la recherche

1. Définition d'une typologie des quartiers périurbains wallons et sélection des cas d'études

Une typologie des quartiers périurbains wallons a été définie. Quatre types représentatifs des quartiers périurbains wallons ont été mis en évidence. Le quartier de type « ruban » est caractérisé par un étalement linéaire. Il est constitué de constructions pavillonnaires et se développe entre deux noyaux villageois. Le quartier de type « semi-mitoyen » est caractérisé par un ensemble de bâtiments résidentiels semi-mitoyens et mitoyens. Il peut s'agir de quartiers accueillant des « logements sociaux ». Le quartier de type « nappe » se compose d'un tissu de constructions isolées homogènes, de type « 4 façades ». Il se développe de façon autonome, sans lien avec les autres structures existantes, ce qui se traduit notamment par la présence de nombreuses voies en cul de sac. Le quartier de type « mixte » est caractérisé par un noyau villageois ancien composé d'un ensemble de bâtiments mixtes, tant en termes de formes que de fonctions, autour desquels se sont développés des constructions plus récentes, souvent plus grandes et isolées. Quatre cas d'études représentatifs de ces types ont été sélectionnés en Région wallonne. Au sein de ces 4 quartiers, 7 bâtiments-types ont été identifiés : trois bâtiments de types « quatre façades » de superficies variées, deux bâtiments de type logements sociaux (un semi-mitoyen et un mitoyen) et deux anciennes fermes rénovées.

2. Développement de méthodes d'évaluation et modélisation énergétique des quartiers-types, sur base de la configuration, des techniques et des usages actuels

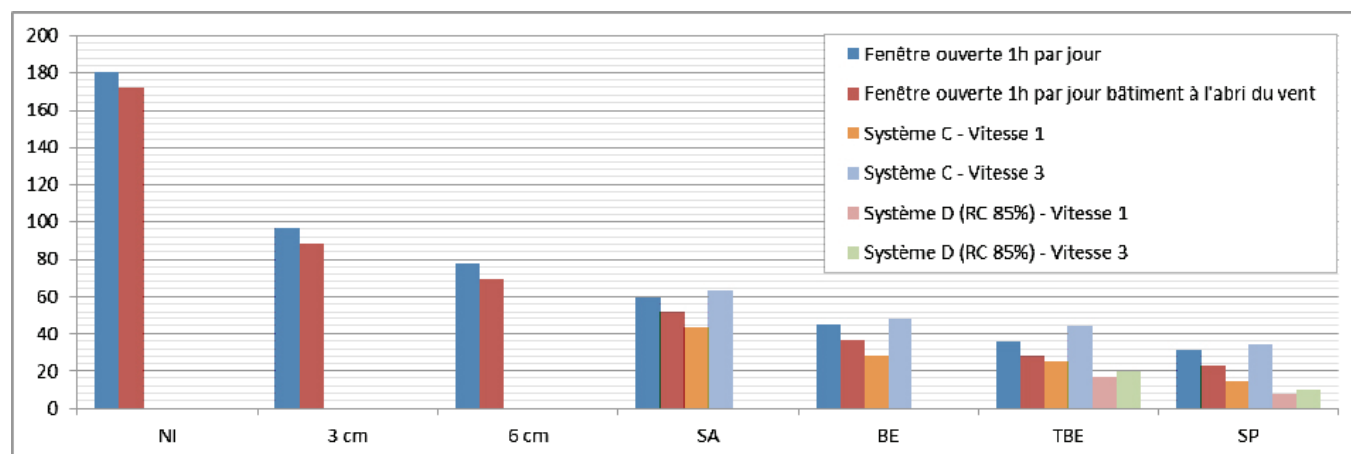
Plusieurs méthodes ont été développées et appliquées aux quartiers-types pour réaliser l'analyse des consommations énergétiques en l'état actuel. Quatre volets complémentaires ont été traités dans ce cadre :

- Le microclimat : des simulations ont été réalisées sur des bâtiments-types en ce qui concerne l'impact des vents sur les consommations de chauffage ;
- Les consommations de chauffage, à l'échelle des quartiers : une méthode d'évaluation a été développée sur base d'une classification typologique du bâti périurbain qui prend en compte la morphologie, l'âge du bâti, etc. et de simulations thermiques dynamiques;
- Le transport des personnes : une méthode d'évaluation des consommations d'énergie relatives aux déplacements domicile-travail et aux déplacements domicile-école a été développée sur base de données empiriques et statistiques (recensements INS). Elle se complète d'un module qui aborde les déplacements vers les gares, les commerces et les centres de loisirs ;
- Les réseaux sont abordés, dans un premier temps, par l'évaluation des consommations d'énergie dues à l'éclairage public, en phase d'utilisation.

3. Modélisation des quartiers-types sur base d'une variation paramétrée des principales caractéristiques architecturales et urbaines des tissus sélectionnés

La partie de la recherche réalisée par Architecture et Climat (UCL) a porté sur trois points :

- L'établissement d'un état de l'art de la rénovation des bâtiments a permis de cibler les enjeux essentiels d'une rénovation durable des bâtiments et des quartiers périurbains ;
- La caractérisation des bâtiments au moyen d'un logiciel de simulation thermique dynamique. Les sept bâtiments représentatifs du bâti périurbain wallon ont été analysés pour sept niveaux de performances énergétiques : parois non isolées (NI), parois avec 3 cm d'isolation (3cm), parois avec 6 cm d'isolation (6 cm), le standard belge actuel (SA), le standard basse énergie (BE), le standard très basse énergie (TBE) et le standard passif (SP) ;
- Des variations paramétrées ont été réalisées sur un ou plusieurs des bâtiments types et abordaient notamment les différences de climat (Uccle et Saint-Hubert), l'impact des modes de vie des occupants (mode d'occupation, consignes de températures, ouvertures des fenêtres, etc.), l'influence des gains internes et des gains solaires, l'influence de différents types de ventilation, l'orientation du bâtiment, etc.



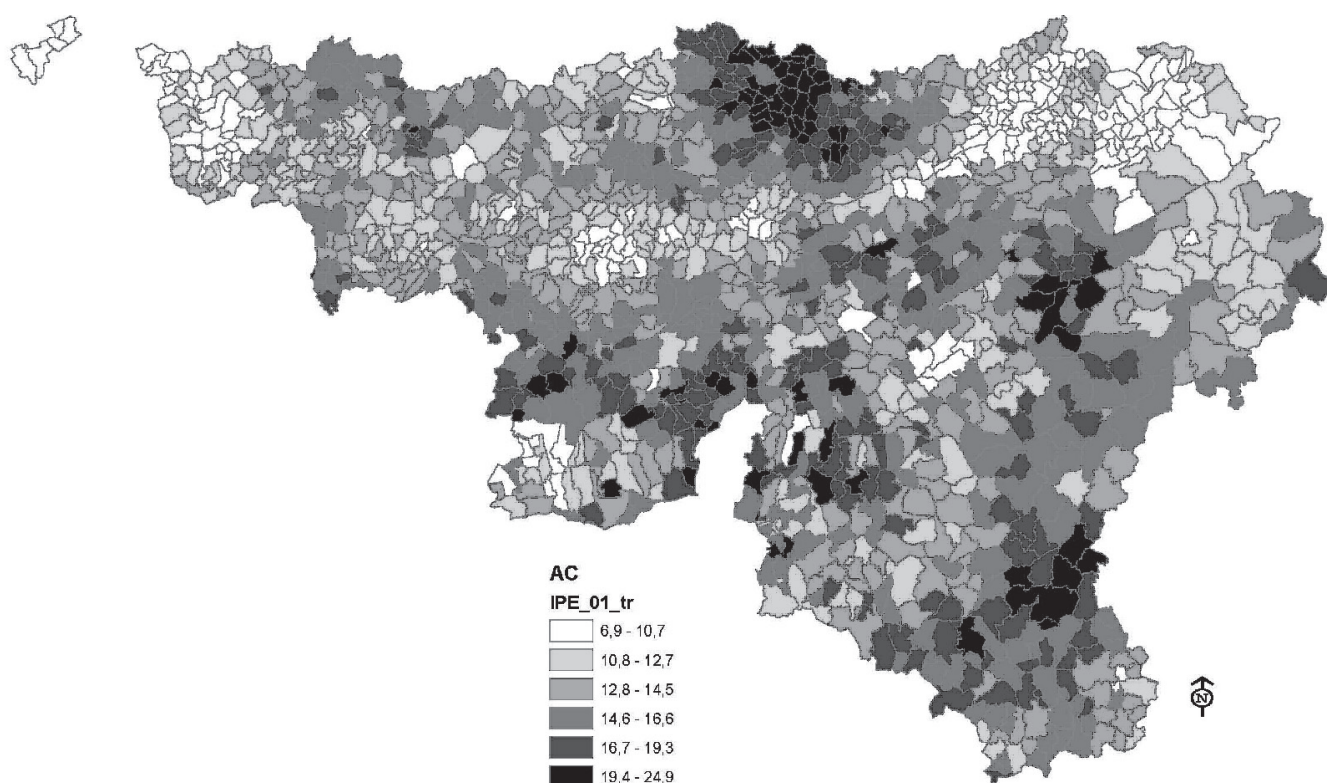
Demande de chaleur, en kWh/m².an, d'une maison « 4 façades », selon 7 différents niveaux d'isolation et différents systèmes de ventilation. Cela illustre l'intérêt de la rénovation énergétique des bâtiments.

La partie de la recherche réalisée par le LEMA (ULg) a porté sur quatre points :

- La réalisation de variations paramétrées portant sur la forme urbaine. La continuité du bâti, l'orientation du quartier et les consommations des bâtiments ont été testés individuellement puis de façon combinée. Le cycle de vie a été abordé ;
- La réalisation de variations paramétrées portant sur le transport des personnes : la localisation, les distances, le télé-travail, le report modal et les performances des véhicules ;
- La généralisation de l'approche développée pour les déplacements domicile-travail et les déplacements domicile-école en

Région wallonne via le calcul et la cartographie de trois indices (un indice de performance des déplacements, un indice des parts modales et un indice des distances parcourues) à trois échelles territoriales complémentaires : commune, ancienne commune, secteur statistique ;

- La définition du territoire périurbain wallon sur base de critères morphologiques. et la validation de la typologie des quartiers périurbains.



Cartographie d'un indice de localisation, en kWh par personne, par trajet qui quantifie, à l'échelle de l'ancienne commune, l'efficacité énergétique des déplacements domicile-travail et met en évidence le lien entre structure du territoire et consommation d'énergie de ce type de déplacements.

Les principaux résultats engendrés par ces deux approches complémentaires sont :

- L'amélioration de l'isolation permet d'importantes réductions des consommations. Si le standard passif est difficile à atteindre en rénovation, d'autres standards de rénovation permettent d'obtenir de très bons résultats ;
- Les bâtiments des quartiers résidentiels périurbains offrent un grand potentiel d'isolation par l'extérieur, mode le plus recommandé en rénovation. L'isolation continue des parois est primordiale et les énergies renouvelables peuvent apporter un bon complément ;

- Pour qu'une rénovation soit durable, elle doit développer une démarche globale en intégrant non seulement le bâtiment individuel mais aussi le contexte dans lequel il s'implante. Travailler sur les composantes bioclimatiques du bâtiment pour maximiser les gains solaires en rénovation est utile mais implique toutefois une rénovation lourde ;
- La gestion des consignes est un paramètre influent et facilement maîtrisable. Conscientiser la population concernant l'influence énergétique de ses modes de vie est important ;
- Les analyses en cycle de vie montrent l'importance de la phase d'utilisation et plaide pour une meilleure économie de flux (réduction des consommations d'énergie, eau, etc.) ;
- Les paramètres les plus influents en termes de forme urbaine sont la continuité du bâti (mitoyenneté) et l'orientation du quartier. La composition des quartiers et bâtiments périurbains existants résulte toutefois de considérations fonctionnelles et n'intègre pas les critères de bioclimatisme alors qu'un potentiel en termes de gains solaires existe ;
- En termes de transport, les paramètres les plus influents sont la localisation des quartiers, les distances parcourues et la mixité fonctionnelle. Le report modal fournit des réductions moins importantes que le télé-travail et l'amélioration des performances des véhicules, notamment car la faible densité des tissus périurbains rend son organisation difficile. La dépendance à la voiture individuelle est grande dans ces quartiers ;
- La généralisation d'un indice de localisation qui cartographie les performances énergétiques des déplacements met en évidence un lien fort entre consommations d'énergie dans les transports (déplacements domicile-travail et domicile-école) et structure du territoire : ce sont dans les zones les plus denses et peuplées de la Région wallonne (ancien sillon industriel mais aussi pôles secondaires) que les déplacements sont les moins énergivores, en raison de distances parcourues plus faibles (meilleure mixité) et de meilleures parts modales des transports en commun et des modes doux.

4. Formalisation et modélisation énergétique de scénarios de renouvellement des tissus périurbains

La phase IV de la recherche a consisté à formaliser et évaluer différents scénarios de renouvellement périurbain sur base des acquis des phases précédentes. L'isolation, la densité bâtie et la localisation des quartiers ont notamment été traités. Des stratégies de rénovation et de démolition / reconstruction ont aussi été testées. L'impact de la densification des quartiers existants sur l'ensoleillement reçu par les façades et les toitures a particulièrement été étudié. Les quartiers existants sont peu denses et peuvent être densifiés de façon significative sans engendrer de pertes importantes en termes d'ensoleillement.

5. Diffusion des résultats de la recherche via la publication de l'outil interactif final

La dernière phase du projet a consisté à développer l'outil interactif final et son contenu sur base des résultats de la recherche. L'objectif principal qui soutend cette démarche est de rendre accessible à un large public, et notamment aux citoyens, les résul-



tats d'une recherche scientifique de pointe. L'outil interactif final prend ainsi la forme d'un site internet accessible à l'adresse suivante : www.safe-energie.be. Il propose différents contenus complémentaires qui permettent à différentes catégories d'utilisateurs d'aborder de façon pratique et concrète la question des consommations énergétiques des bâtiments et des déplacements, dans le contexte de l'étalement urbain. Vous trouverez sur le site www.safe-energie.be :

- Des fiches-pratiques qui présentent les principaux résultats de la recherche et des bonnes pratiques, organisées par thème.
- Des outils d'évaluation interactifs permettant à l'utilisateur d'estimer les consommations énergétiques de son logement et de ses déplacements mais aussi l'impact de différents scénarios de renouvellement (amélioration de l'isolation de tout ou partie de son logement, l'impact d'un report modal vers les modes doux, voir celui d'un changement de localisation résidentielle, etc.)
- Des liens utiles vers les organismes responsables et des publications complémentaires.



Pour aller plus loin

Autres fiches

Nous vous invitons à consulter les fiches pratiques rédigées dans le cadre du projet sur www.safe-energie.be/fiches-pratiques/

Liens utiles

- Notre site: www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lema.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be

Références et publications scientifiques de l'équipe en lien avec cette fiche

- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2012b. A method to evaluate the energy consumption of suburban neighborhoods. HVAC&R Research Journal 18 (1-2): P.88-99.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2012. A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. Environmental Impact Assessment Review, 33: P.1-6.





- Marique, A.-F., M. Pétel, A. Hamdi & Reiter, S. 2012. Combining territorial data with thermal simulations to improve energy management of suburban areas. Proceedings of GEOProcessing 2012, Valence, Spain.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2011. Urban sprawl and travel energy consumption: the case of the Walloon Region of Belgium. Irish Transport Research Network Conference ITRN2011, Cork, Ireland.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2011. Improving energy efficiency of existing suburban blocks through district energy planning. 7th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, Shanghai, China.
- Marique, A.-F., T. de Meester and S. Reiter. 2011. Energy requirements and solar availability in suburban areas: the influence of density in an existing district. CISBAT 2011 International Conference on Clean Techs for Sustainable Buildings, Lausanne, Suisse.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2011. Towards more sustainable neighbourhoods: are good practices reproducible and extensible. A review of existing sustainable neighbourhoods. 27th PLEA International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-La-Neuve, Belgique.
- de Meester, T., A.-F. Marique and S. Reiter. 2011. The Influence of occupation modes on building heating loads: the case of a detached house located in a suburban district. 27th PLEA International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-La-Neuve, Belgique.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2010. A method to assess transport consumptions in suburban areas. PLUREL International Conference: Managing the Urban Rural Interface, Copenhagen, Denmark.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2010. A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighborhood scale. Proceedings of the 7th IAQVEC International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in buildings, Syracuse, New-York, USA.



Auteurs de la fiche

LEMA

Université de Liège

A.F. Marique et Prof. S. Reiter

Chemin des Chevreuils, 1 B52/3

4000 Liège

Afmarique@ulg.ac.be

+32 4 366 93 67

<http://www.lema.ulg.ac.be/>

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain

T. de Meester et Prof. A. De Herde

Place du Levant, 1

1348 Louvain-La-Neuve

Tatiana.demeester@uclouvain.be

+32 10 47 23 34

<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>





L'étalement urbain : qu'est-ce que c'est ?

Ses spécificités en Région wallonne



L'étalement urbain et ses spécificités en Région wallonne

- Il existe de nombreux concepts et tentatives de définition de l'étalement urbain dans la littérature
- Trois critères sont couramment mentionnés : (1) une croissance diffuse sans liaison avec les espaces urbanisés existants ; (2) la monofonctionnalité des développements périurbains et (3) une faible densité
- L'étalement urbain en Région wallonne (Belgique) présente des points communs mais aussi des spécificités en comparaison avec les régions voisines
- Le projet de recherches SAFE aborde l'étalement urbain en Région wallonne sous l'angle énergétique et traite, à la fois, de l'énergie nécessaire au chauffage des bâtiments et aux déplacements des habitants



Résumé

Le projet SAFE porte sur l'évaluation énergétique des quartiers périurbains wallons et sur la formalisation et l'évaluation de scénarios de renouvellement de ces tissus. Il convient d'abord de poser les bases de la recherche et de définir de façon précise son objet. La présente fiche dresse ainsi un état de l'art de la littérature relative à l'étalement urbain. Parmi la pléthore de définitions et de concepts proposés dans la littérature, trois caractéristiques sont particulièrement relevées : (1) une croissance diffuse sans liaison avec les espaces urbanisés existants ; (2) la monofonctionnalité des développements périurbains et (3) une faible densité bâtie. Les spécificités de la périurbanisation en Région Wallonne (Belgique) sont ensuite abordées. La fiche rappelle, en conclusions, les principaux enjeux et challenges de l'étalement urbain.



© Copyright - <http://www.bing.com/maps/>.

L'étalement urbain : quelques définitions

L'étalement urbain constitue un des phénomènes les plus marquants de l'évolution des territoires européens depuis la révolution industrielle. Force est toutefois de constater que ce phénomène reste mal défini. De nombreux concepts et tentatives de définitions sont présentés dans la littérature. La Région wallonne (Belgique) est particulièrement touchée par ce phénomène qui présente des spécificités en comparaison avec les territoires voisins. La dispersion de l'habitat touche tous les domaines de notre développement en augmentant la dépendance à la voiture individuelle, les frais de la collectivité pour la gestion et l'entretien des réseaux, etc. L'étude des conséquences énergétiques et du recyclage des quartiers périurbains existants est particulièrement pertinente pour favoriser un développement plus durable de nos territoires.

Depuis la fin du 19ème siècle, l'industrialisation a amené, en Région wallonne mais aussi dans de nombreuses régions européennes, le recul des terres agricoles, au profit des bois et de l'urbanisation. Si la progression de la forêt semble s'être arrêtée au début des années 80, l'urbanisation poursuit sa croissance : en moins de 20 ans, la superficie totale du bâti wallon a ainsi augmenté de 18%. Se limitant auparavant aux terrains proches des villes et villages existants, elle touche aujourd'hui l'ensemble du territoire, jusqu'aux zones rurales les plus reculées [Kints, 2008]. Cette déconcentration des fonctions urbaines, principalement du logement et des activités économiques hors des villes est une réalité complexe et mal définie. Les espaces périurbains connaissent une multitude d'acceptions et de définitions puisqu'il est difficile de définir leurs contours. De nombreuses tentatives ont été formulées, en voici quelques unes :

- La désurbanisation ou périurbanisation est définie par la CPDT [2002] comme le « phénomène de déconcentration des populations et des activités soit par desserrement ou mouvement du centre de l'agglomération vers la périphérie, soit par décentralisation ou mouvement d'une ville ou d'une région vers une autre » ;
- L'étalement urbain peut être assimilé à une croissance à faible densité, en périphérie sans continuité dans l'expansion [Bochet, 2007]. Il intervient dans une zone donnée lorsque le taux d'occupation des terres et la consommation de celles-ci à des fins d'urbanisation sont plus rapides que la croissance de la population sur une période de temps déterminée [European Environment Agency, 2006]. Ce développement est inégal, clairsemé, perlé, avec une tendance à la discontinuité [Bouvier, 2009].

Parmi les nombreuses tentatives de définition présentées dans la littérature, nous relevons particulièrement trois traits communs : (1) une croissance diffuse, en général sans liaison avec les espaces urbanisés existants ; (2) la monofonctionnalité des développements périurbains qui touchent principalement le logement et (3) une faible densité bâtie, essentiellement due à la présence d'habitations « quatre façades » construites sur de larges parcelles individuelles.



Les grandes tendances en Région wallonne

L'étalement urbain en Région wallonne a fait l'objet d'études diverses, ce qui a permis de mettre en évidence les grandes tendances suivantes :

Un phénomène de long terme toujours d'actualité

Si elle a connu son paroxysme dans la seconde moitié du 20ème siècle (la ville de Liège, par exemple, comptait 250.000 habitants en 1960 contre 190.000 en 2000), la périurbanisation est un phénomène de long terme. Van de Velde évoque déjà, au début du 20ème siècle l'exode urbain des populations aisées de Bruxelles vers la périphérie. Les cités-jardins qui apparaissent après la première guerre mondiale relèvent aussi de la périurbanisation en répondant à la volonté des urbains de fuir la ville sale et de se rapprocher de la nature. Ce modèle, conçu en Angleterre et importé en Belgique par des architectes modernistes, contient tous les germes du lotissement actuel. La cité-jardin est toutefois davantage caractérisée par la volonté d'avoir à la fois la campagne, et ses avantages, et la ville, et ses services, regroupés au sein d'une même cité (alors que le lotissement sera monofonctionnel). Les trente glorieuses, période de reconstruction et d'activité immobilière intenses au lendemain de la seconde guerre mondiale, sont marquées par l'apparition de nouveaux systèmes de financement, de nouvelles techniques de construction et par le développement de l'automobile qui jouent un rôle majeur dans les modes constructifs et les choix résidentiels. C'est la première vague de périurbanisation, particulièrement intensive, liée à la mobilité privée.

Dès 1960, l'urbanisation diffuse touche l'ensemble du territoire : la ville décroît et la périphérie augmente. La progression radio-concentrique n'est plus la règle : on assiste à un phénomène de déconcentration urbaine, lié à la facilitation des transports et à la volonté de vivre à la campagne, dans une « villa » située sur une grande parcelle « près de la nature ». Cette urbanisation diffuse touche maintenant l'ensemble du territoire, y compris les régions rurales et les plus éloignées des centres, ce qui a pour conséquence le déclin des grandes villes, le peuplement des banlieues et des zones plus éloignées (la différence entre ville et campagne s'estompe), la croissance de certaines villes moyennes, etc. Chaque personne occupe de plus en plus d'espace puisque la taille des parcelles destinées au logement augmente alors que la taille des ménages diminue [Kints, 2008]. De 1971 à 1980, au niveau des zones urbaines, c'est en banlieue (deuxième couronne) qu'on retrouve le plus de logements datant de cette époque. Ces développements s'expliquent par l'augmentation de la mobilité des travailleurs, la volonté d'habiter dans des conditions de vie considérées comme meilleures par rapport aux villes et surtout une politique foncière accessible aux classes moins aisées. A cette époque (1974), paraît la première étude internationale traitant véritablement de l'étalement urbain, « The cost of urban sprawl », rédigée par une agence nationale américaine traitant de l'environnement.

Les politiques d'aménagement du territoire visant à freiner cette tendance, dont les effets néfastes sont de plus en plus décriés, commencent à apparaître mais ne semblent pas porter leurs fruits. Les développements périurbains sont particulièrement impor-



tants en Brabant wallon et le long de l'axe de la périurbanisation de Bruxelles vers le Luxembourg qui brise alors la réalité de l'axe industriel wallon en son centre, au niveau de Namur [Kints, 2008]. Dans les années 90 enfin, et si le phénomène est toujours d'actualité, on remarque que la périphérie augmente toujours fortement mais que la ville stagne ou augmente un peu (Namur notamment). L'étalement spatial de la périurbanisation s'amplifie.

1980	1990	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4.344	4.980	5.640	5.787	5.830	5.868	5.912	5.958	6.004	6.050
1.526	1.791	2.221	2.322	2.351	2.379	2.409	2.439	2.470	2.501

Utilisation du sol en km² [1980-2009] pour les « terrains bâtis et terrains connexes » sur la première ligne ; dont les « terrains résidentiels » sur la deuxième ligne, chiffres du SPF Economie P.M.E, classes moyennes et Energie © economie.fgov.be/

Trois conditions nécessaires : le relâchement des contraintes de mobilité, les préférences des habitants et les réglementations qui rendent le phénomène possible

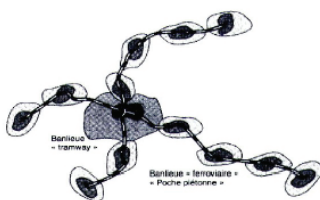
Le relâchement des contraintes de mobilité (grâce aux transports en commun d'abord, aux voitures individuelles ensuite) apparaît comme l'élément déclenchant de la périurbanisation, en rendant de nombreux terrains périphériques bon marchés, autrefois difficilement accessibles, potentiellement urbanisables. A titre d'exemple, si la vitesse de déplacement est multipliée par 10, elle autorise des choix de localisation sur un territoire potentiellement centuplé [Halleux, 2008], ce qui entraîne des surabondances foncières dans le sens où les possibilités d'occupation de l'espace excèdent largement les besoins des fonctions urbaines. Dans leur volonté de vivre sur les territoires les plus larges possibles, les individus sont toutefois soumis à des contraintes de deux types. Zahavi [1976] a formulé une « loi de constances des budgets et des temps de transports » qui postule que, au-delà des fortes variabilités individuelles, les ensembles de population cherchent à maximiser les distances parcourues quotidiennement. Elle postule également que cet objectif de maximisation est limité par les budgets-temps et par les budgets financiers que les populations acceptent d'allouer au poste transport. A ce propos, les études convergent et observent que les populations ne souhaitent pas dépasser :

- Un budget temps de maximum 1 heure à 1h30 par jour ;
- Une contrainte financière de maximum 15 à 20% du budget du ménage pour le poste transport.

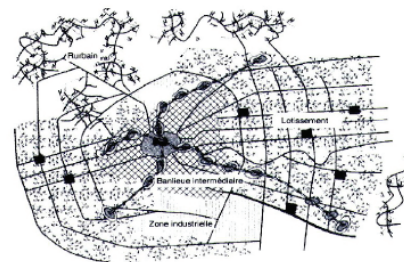
La variable « temps » reste constante au cours des années alors que la distance parcourue durant ce temps augmente, notamment dans les années 70. Le lien entre les deux, c'est la vitesse. Créer des routes et infrastructures routières permet ainsi de gagner de l'espace plutôt que du temps, ce qui explique la périurbanisation. On est ainsi passé, au court du temps, de la ville dense piétonne à la ville moins dense grâce à l'essor des transports en commun puis à la périurbanisation liée à la banalisation de la voiture individuelle.



Ville «piétonne» traditionnelle



Ville «transports en commun»



Ville «voiture»

Figure 1 : La lecture associant vitesse de déplacement et organisation spatiale urbaine conduit à distinguer trois grands modèles urbains : la ville «piétonne» dense et compacte, la ville «transport en commun» suburbaine et la ville «voiture» périurbaine [Halleux, Lambotte, 2006]
© [Newman et Kenworthy, 1996]

Mais si la mobilité est une condition nécessaire à la périurbanisation, elle n'est pas suffisante, il y a aussi les préférences personnelles des ménages pour ce type de développement (accès à la propriété et habitat pavillonnaire), et, enfin, la politique d'aménagement du territoire qui rend possible ou non la matérialisation de ces choix. La mise sur le marché et la viabilisation de terrains bon marchés, car situés hors des agglomérations urbaines à la pression foncière importante, est ainsi un préalable indispensable à l'accès à la propriété individuelle d'un grand nombre de ménages. L'accès à la propriété était perçu comme favorable au soutien de la croissance économique fordiste car il constituait le point de départ de l'achat de biens de consommation. Aussi, cette évolution a été suscitée par les pouvoirs publics qui ont massivement financé l'équipement de la Wallonie en infrastructures de transport individuel. Ainsi entre 1970 et 2002, le réseau routier belge a cru de 57,7% et la longueur du réseau routier a plus que doublé (+ 262%) tandis que les autres moyens de transport (rail, navigation) voyaient leur niveau d'équipement diminuer [Dubois et Hanin, 2005]. La Belgique a ainsi fait un « choix clair en faveur de la mobilité voiture » [Halleux et al, 2002].

L'étalement urbain en Wallonie reflète en effet davantage des modes de vie et de consommation que de l'accroissement de population. Il est directement lié au transport et à l'impact du développement du parc automobile sur des modes de vie qui reposent de plus en plus sur une forte mobilité des personnes, conséquence d'un modèle social basé sur l'individualisation croissante des comportements et sur une organisation de l'espace progressivement adaptée aux contraintes de la voiture individuelle. [CPDT, 2002].

La dépréciation des espaces centraux traditionnels

La périurbanisation, en Région wallonne, est caractérisée par un double phénomène d'étalement urbain et de désurbanisation ou dépression des espaces centraux traditionnels en tissu ancien. Cette dépréciation est en partie due à la désindustrialisation, particulièrement criante dans l'ancien sillon minier et aux nombreuses friches industrielles qu'elle a engendrées mais trouve surtout son origine dans la périurbanisation des ménages et des activités. Ce double mouvement est assez caractéristique de la

Wallonie. En France, par exemple, si on note également une tendance forte à l'étalement urbain, celui-ci ne se développe pas au détriment des espaces centraux qui restent habités majoritairement par des classes plutôt aisées.

La dépréciation des espaces centraux traditionnels.

En Région wallonne, la périurbanisation concerne des espaces éloignés des espaces bâtis existants, contrairement au sud de la Grande-Bretagne [Figure 2], par exemple, où on remarque, pour une densité et une topographie similaire à la Région wallonne, un développement très limité en campagne. En Grande-Bretagne, la tradition de maîtrise de l'étalement urbain est ancienne et profondément ancrée. La volonté de contrôle des extensions urbaines, d'abord incarnée par les villes nouvelles et les ceintures vertes ne s'est pas démentie depuis le début du 20ème siècle (la première « green belt », celle de Londres, date de 1938). Les ceintures vertes en place autour des agglomérations occupent actuellement environ 13% du territoire de l'Angleterre. Elles abritent de nombreux villages et bourgs ruraux conservés dans leur état rural originel en raison des restrictions très sévères imposées à l'urbanisation. On peut remarquer que ces ceintures vertes portent quand même une ambiguïté : d'un côté, elles protègent contre l'étalement urbain (et dans un même temps favorise donc le renouvellement de la ville puisqu'il y a moins de disponibilité en périphérie) et préservent les villages ruraux, d'un autre, elles sont utilisées par les « premiers arrivés » pour se protéger des nouveaux et les villages qui les constituent sont souvent des clos de gens très homogènes et privilégiés.

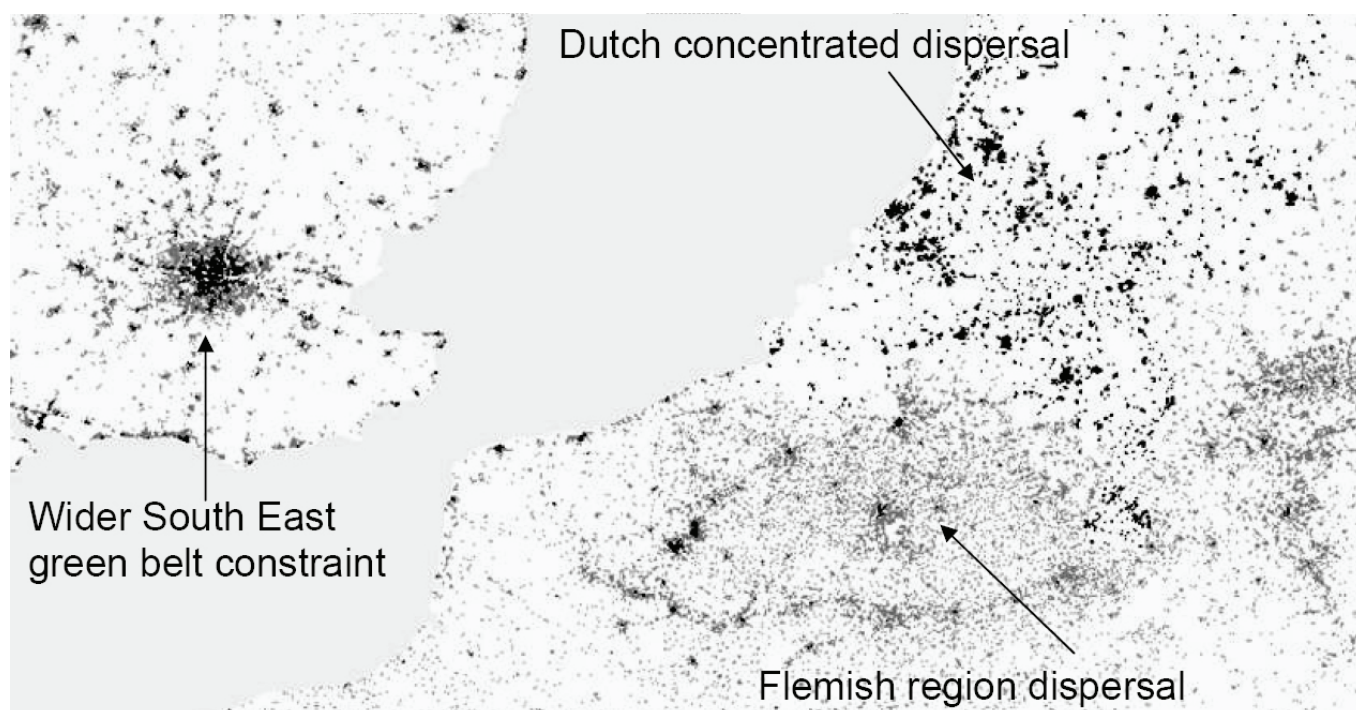


Figure 2 : Etalement urbain en Angleterre, aux Pays-Bas et en Flandres © [EPSRC, 2009]



Aux Pays-Bas, la périurbanisation est plutôt marquée par une dispersion de l'habitat, qui au contraire de la Wallonie, reste relativement concentrée autour de quelques villes moyennes (concentration dispersée). Le tissu périurbain flamand, à l'image de la celui de la Wallonie est plus dispersé [EPSCR, 2009]. Il s'agit ici d'une dispersion de l'habitat qui ne se fait pas en continuité avec les centres urbains existants.

Une faible densité

La périurbanisation en Wallonie est caractérisée par une densité faible. Les parcelles présentent de grandes superficies, que ce soit en ce qui concerne l'habitat comme en ce qui concerne les zones d'activités économiques. La superficie moyenne des terrains à bâtir, qui constitue un indicateur de l'évolution de la consommation de l'espace à des fins résidentielles, vendus en 2004 est proche de celle de 1990 (environ 1.500m²). Elle a cependant eu tendance à croître entre 1997 et 2001, pour atteindre une moyenne de 1.700m². On observe une amorce de décroissance à partir de 2002, qui pourrait s'expliquer entre autres par l'accroissement plus rapide du prix au m² [Figure 4, Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007]. A titre de comparaison, la taille moyenne des parcelles aux Pays-Bas n'atteint que 400m² [Halleux, 2008].

La politique d'offre foncière belge [voir : des développements sans planification] explique aussi pourquoi les parcelles sont généralement de grande taille : dans un contexte culturel peu soucieux de la consommation d'espace les programmes d'urbanisation sont définis par des promoteurs privés visant à assurer la commercialisation de leurs parcelles et donc à offrir le produit foncier le moins risqué, hors certaines zones de fortes demandes, la parcelle dans un environnement peu dense et suffisamment large que pour accueillir une villa 4 façades [Halleux, 2008].

L'augmentation de la superficie urbanisée ne s'explique que partiellement par la croissance de la population. En effet, durant la période 1986-2004 par exemple, le nombre d'habitants en Wallonie a augmenté de 5,5%. Or, durant la même période, la superficie urbanisée est passée de 610m² à 680m² par personne (+11,5%). La taille des parcelles était de 4,9 ares en 1953 et de 12,3 ares en 1970 pour les ventes de gré à gré selon l'INS [Dubois et Hanin, 2005]. L'augmentation de la superficie urbanisée n'est donc pas liée uniquement à la croissance de la population mais également à une plus grande consommation d'espace par personne, que ce soit pour le logement, le commerce, le travail, les infrastructures de transport ou de loisirs.

Remarquons aussi que la taille moyenne des terrains à bâtir diffère selon les sous-régions. Les localités situées dans l'aire d'influence d'une ville importante subissent en général une pression foncière qui se traduit par une baisse de cette taille. Ainsi le Brabant Wallon, les cantons de l'est et Arlon connaissent une diminution de la taille des parcelles à bâtir due à la proximité, respectivement, de Bruxelles, de l'Allemagne et du Luxembourg. Ceci s'explique sans doute par une demande plus forte et une offre de plus en plus réduite. Il s'en suivrait une hausse de prix qui pousse les ménages à rechercher des parcelles plus petites [Figure 4, Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007].

La Belgique serait par ailleurs le second pays européen, après le Luxembourg, en termes de superficie utile par logement neuf (131,4m²) et en nombre moyen de pièces par logement (5,8) [Hoffner et Dol, 2000].

Évolution de la taille moyenne et du prix moyen au m² des terrains à bâtir vendus en Région wallonne

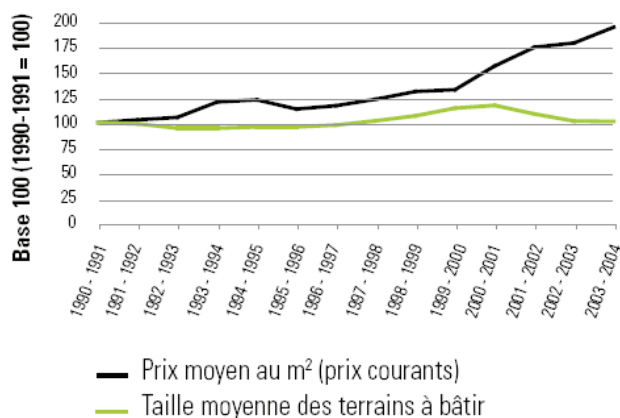


Figure 3 : Evolution de la taille moyenne et du prix moyen au m² des terrains à bâtir vendus en Région wallonne ©[Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007]

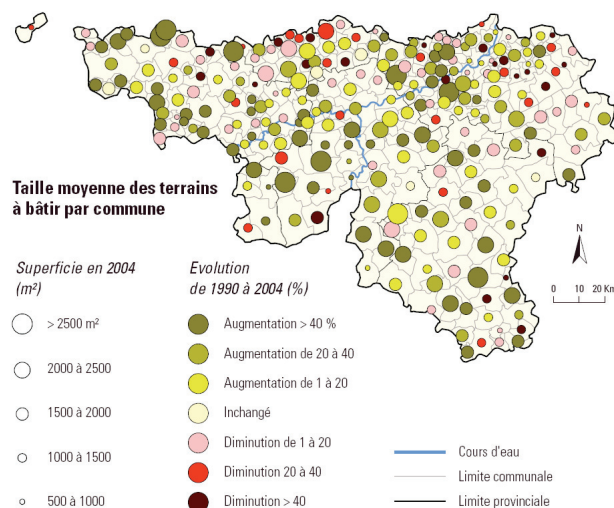


Figure 4 : Taille moyenne des terrains à bâtir par commune ©[Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007]

On remarque enfin une tendance récente au développement de logements collectifs périurbains qui prennent la forme de petits immeubles à appartements. Les blocages rencontrés par les promoteurs désireux de développer ce genre de projet en zones urbaines font que ce type de réalisation tend à se périurbaniser. Une intensification de la production en immeubles collectifs est ainsi observée au sein de la grande zone métropolitaine de Bruxelles et dans la grande périphérie liégeoise. Face à la progression de la production de logements collectifs, il convient d'attirer l'attention sur la nécessaire régulation de cette nouvelle forme de périurbanisation, qui pose des problèmes de divers ordres (dépendance automobile, intégration paysagère, syndrome NIMBY, etc.) [Halleux et Lambotte, 2008].

La monofonctionnalité

La périurbanisation wallonne est monofonctionnelle et touche principalement le logement mais concerne aussi les activités économiques, culturelles, universitaires, de loisirs, etc. par opposition aux tissus centraux anciens qui mêlaient intimement logement, industries et autres fonctions. La périurbanisation des ménages est elle-même très liée à la périurbanisation des activités et des emplois puisque de nombreux ménages déménagent en zone périurbaine pour se rapprocher du lieu de travail d'un des deux conjoints [Piron, 2007].

Plus problématique, les lotissements contemporains de villas individuelles, qui ont connu leur heure de gloire ces vingt dernières années et qui continuent à former une réponse à la demande de logement, démontrent, jusqu'à ce jour du moins, une véritable incapacité d'évolution vers une mixité du tissu [Mangin, 2004].

Une forte aspiration à la maison unifamiliale et une faible propension de régulation

La Région wallonne, et la Belgique de façon plus générale, se caractérisent par une forte aspiration à la maison individuelle et une prégnance du droit de propriété couplées à une faible propension de régulation en urbanisme. L'aspiration à la maison individuelle, d'abord, est bien ancrée dans le contexte belge. Depuis la loi de 1889 sur les habitations ouvrières, l'accession à la propriété se développe comme le pilier principal de la politique de logement (la fameuse « brique dans le ventre »), notamment au travers du développement du crédit hypothécaire et de diverses aides et comme un vecteur de paix sociale. Or, comme nous l'avons vu, la propriété doit s'appuyer sur des terrains bon marché, et donc éloignés des zones centrales à forte pression foncière, pour pouvoir se développer. La faible régulation en urbanisme, d'autre part, est également une tendance lourde du contexte national et s'inscrit dans une conception plutôt « sud-européenne » de la captation de la rente foncière : il paraît légitime de laisser au propriétaire foncier initial le bénéfice de la rente foncière (y compris la rente d'urbanisation lorsque le terrain passe d'un usage rural à un usage urbain). Au contraire, en Europe du Nord, la conception largement répandue est que la propriété du sol n'inclut pas le droit à la plus value [Halleux, 2008].

Ce double constat est assez spécifique à la Belgique. Aux Pays-Bas par exemple, l'aspiration à la maison individuelle est combinée à une forte régulation publique qui évite certaines dérives. L'ADEF (Association Des Etudes Foncières) commente pour sa part la faible intervention de la puissance publique belge sur les marchés fonciers et s'étonne de l'idée prédominante selon laquelle le sol n'est pas, dans notre pays, considéré comme un bien rare et non reproductible mais comme un bien abondant que l'on peut consommer ce qui peut engendrer une consommation excessive et un gaspillage de l'espace [Acosta, 1994].

Des développements sans planification, au gré des projets des développeurs privés

La périurbanisation en Région wallonne ne découle pas d'une politique d'aménagement foncier. Elle se fait au gré des développeurs privés, sans vision globale et à long terme. Ce sont les initiatives des promoteurs et propriétaires fonciers qui déterminent le peuplement du territoire et il en résulte inmanquablement un mitage de l'espace et un gaspillage de terrains, notamment en raison de la rétention spéculative des propriétaires de terrains situés au sein ou à proximité immédiate des agglomérations et éloigne les demandeurs des noyaux urbains.

Une forte tendance à l'autopromotion

La filière de l'autopromotion est largement prédominante pour la construction de nouveaux logements unifamiliaux. Plutôt que

d'acquérir une habitation déjà construite par un promoteur, le ménage wallon désireux de bénéficier d'une construction unifamiliale neuve est donc plutôt maître d'ouvrage. Même si cette observation est banale pour une audience wallonne, il est important de comprendre que nous sommes ici en présence d'une spécificité belge [Halleux et Lambotte, 2008]. Au sein des principaux pays occidentaux, c'est en effet à la Belgique que revient la palme de l'autopromotion. A l'inverse, la filière « promoteur » est très majoritaire au Royaume-Uni et aux Pays-Bas où les familles acquièrent des habitations déjà construites par des professionnels. Pour la décennie 80, la part de l'autopromotion dans la production de nouveaux logements s'élève ainsi à 60% en Belgique, contre 52% en France, seulement 10 aux Pays-Bas et 6% au Royaume-Uni [Halleux, 2008]. Expliquer la spécificité belge de l'autopromotion nécessite de faire référence aux modalités de planification foncière. En effet, la maîtrise d'ouvrage des particuliers est souvent prédominante là où les futurs occupants peuvent aisément accéder aux terrains à bâtir (comme en Belgique). Par contre, si la planification est stricte, les difficultés des particuliers pour accéder au marché foncier poussent les professionnels à développer leur maîtrise d'ouvrage, comme au Royaume-Uni ou aux Pays-Bas [Halleux, 2005]. L'histoire de la politique du logement explique également la spécificité belge de l'autopromotion. Sur ce sujet, la tradition visant à soutenir la propriété immobilière depuis la loi de 1889 inaugurant la politique du logement est un élément bien connu. Par contre, on oublie que cette politique historique ne visait pas uniquement à favoriser les propriétaires-occupants. En effet, de nombreux outils mis en place depuis la fin du 19ème siècle ont permis à de « petits bourgeois » de placer leurs économies dans la construction d'immeubles de rapport, retardant par là l'apparition du promoteur professionnel [Doucet, 1985].

Une spécialisation des territoires en fonction des cycles de vie

Le rapport à la centralité et la spécialisation des territoires dépendent assez clairement des cycles de vie des populations qui les habitent. Les jeunes non fixés, débutant professionnellement, recherchent ainsi essentiellement la proximité des activités, lieux culturels et de mouvements de la ville. Ils s'orientent, une fois leur famille en formation, vers des localisations périurbaines qui répondent alors à un besoin nouveau d'espace et de nature en offrant un voisinage assez homogène d'un point de vue social. Mais, il n'est pas rare, lorsque les enfants sont élevés, qu'ils quittent le domicile parental. Ces ménages vieillissants cherchent alors à retrouver l'espace de centralité, notamment dans les villes petites ou moyennes. Ces préférences individuelles semblent liées au statut social des personnes concernées et si elles sont choisies, elles peuvent aussi être subies pour d'autres catégories de population.

Une source d'inégalités socio-spatiales

Le choix d'une localisation périurbaine, au-delà des préférences individuelles, découle d'un arbitrage entre coût de transport, temps de déplacement et prix foncier. Si les ménages sont, comme on l'a vu, désireux de s'établir en périphérie verte, ils sont contraints, dans cette quête par l'aspect financier. Une partie du territoire devient ainsi inaccessible financièrement pour les accédants à la propriété. La première couronne des grandes villes, Liège notamment, devient ainsi inabordable pour une partie des ménages qui doivent alors s'écarter encore des centres urbains où, suite au développement des bureaux, des commerces et des services, la rente foncière a augmenté, décourageant ainsi l'accès au logement sur ces territoires centraux. On remarque

de plus (en France notamment) que ce sont encore les populations les plus aisées qui réintègrent les quartiers centraux lorsque ceux-ci ont fait l'objet d'une rénovation ou d'une revitalisation. Cela conduit encore à augmenter la pression foncière et la crise du logement actuelle et donc une partie de la population se voit contrainte à vivre dans des très petits logements en centre-ville, en location, ou de passer au-delà des premières couronnes, dans des zones souvent non desservies en transport en commun [Charmes, 2007].

Par ailleurs, de nombreux auteurs s'accordent aujourd'hui pour dire que l'étalement urbain coûte cher à la collectivité, notamment en ce qui concerne les coûts de construction et d'entretien des réseaux (gaz, eau, électricité, etc.), les déplacements et le chauffage [Lambert, 2006]. La périurbanisation entraîne ainsi des coûts pour la collectivité qui ne profitent qu'à certains. Les populations précarisées du centre-ville financent en partie le bien-être des nantis de la périphérie : coûts des réseaux et de leur remplacement, perte d'espaces verts et agricoles, augmentation de la pollution atmosphérique, etc. car certains bénéfices de la périurbanisation sont privés et les coûts collectifs.

Des territoires dépendants de l'automobile

Les territoires périurbains, en particulier ceux les plus éloignés des centres urbains sont très dépendants de la voiture, et ce d'autant plus que les emplois semblent être restés fortement concentrés dans les centres-villes, malgré quelques mouvements de délocalisation en périphérie [Decrop, 2002]. Compte tenu de leur éloignement des agglomérations et de la faible densité qui les caractérise, il est de plus difficile d'assurer une desserte correcte en transport en commun dans ces territoires, ce qui contribue à augmenter le nombre et la longueur des déplacements quotidiens. Le taux de motorisation des ménages belges est ainsi passé de 40 voitures pour 1.000 habitants en 1950 à plus de 350 véhicules pour 1.000 habitants en 1985 [Dubois et Hanin, 2005]. L'évolution des modes de travail a également un rôle dans cette difficulté à desservir les quartiers périurbains : les horaires sont flexibles, les lieux de travail non centralisés et éloignés dans des zones d'activités de faible densité, les emplois à temps partiel se généralisent, etc. L'usage et l'organisation des transports en commun semblent donc souvent irréalistes.

Une source de dépenses mais aussi de revenus pour les communes [Dubois et Hanin, 2005]

Dubois et Hanin [2005] ont observé la variation des dépenses et des recettes par habitant selon une classification des communes en couronnes périurbaines successives (Van der Haegen [1991] et Eggerickx et Capron [2001]). Ils ont mis en évidence que le niveau des dépenses est systématiquement plus élevé en agglomération même si certaines communes de banlieue peuvent présenter des valeurs élevées. Ces écarts peuvent refléter des besoins de gestion plus onéreux dans les agglomérations du fait de la densité de population, du niveau de précarité des ménages ou de la vétusté des tissus bâtis et équipements. Ils peuvent également être liés au rôle central joué par la ville à l'égard des entités environnantes et aux biens et services pris en charge par les communes centres à destination des migrants (travailleurs, étudiants, culture, commerces, etc.).



L'étude s'attache ensuite à étudier les recettes des communes et leur origine et montre que les sommes perçues à titre de dotations sont largement favorables aux agglomérations. Ramenées au nombre d'habitants, les sommes prélevées dans les trois types de communes sont sensiblement les mêmes.

Augmenter les taxes additionnelles sur l'I.P.P. et celles à l'impôt foncier, appelé « précompte immobilier » est le moyen le plus direct d'augmenter les recettes fiscales d'une commune. Or, ce recours accru aux impôts locaux est socialement inéquitable et peut entraîner un mode de gestion dispendieux de l'espace. Il semble plus aisé pour les communes – peut-être pour des questions de stratégies électorales- d'œuvrer à la stabilité des recettes en favorisant la progression du produit du précompte immobilier plutôt que celle de l'impôt additionnel aux revenus. Or, en la matière, une construction neuve contribue, plus qu'une transformation, à la croissance de l'assiette d'imposition, ce qui pousse les responsables communaux à œuvrer à l'urbanisation de leur territoire comme vecteur privilégié permettant d'accroître les recettes fiscales sans rehausser les taux. Cette « chasse à l'habitant » est particulièrement défavorable aux communes centrales qui présentent les atouts les plus faibles pour y concourir (faibles aménités, environnement bâti dégradé, fiscalité importante, pression foncière excessive, etc.). Il apparaît ainsi difficile de demander à des communes dont la stabilité financière dépend d'un certain type de développement de favoriser des politiques différenciées en fonction des conditions sociales, économiques et environnementales du territoire.



En conclusion : les conséquences et challenges de l'étalement urbain

Des conséquences non compatibles avec les principes du développement durable

En termes environnementaux, la forte dépendance à l'automobile induite par l'étalement urbain n'est pas favorable à la diminution de la consommation d'énergie liée aux transports, ni à la réduction des pollutions atmosphériques et de l'effet de serre qui y sont liés. Ce type de développements entraîne également une consommation d'énergie accrue pour le chauffage de bâtiments périurbains car, à niveau d'isolation égale, une habitation de type « 4 façades » consomme plus d'énergie que d'autres formes urbaines plus compactes. Parmi les autres conséquences environnementales directes ou indirectes des développements périurbains, on peut citer une occupation irréversible et une imperméabilisation croissante des sols, une banalisation des paysages, un mitage des terres agricoles, etc. L'étalement urbain monofonctionnel et peu dense hors des limites de la ville traditionnelle engendre aussi des conséquences socio-économiques néfastes : augmentation des coûts de la collectivité pour la gestion et l'entretien des réseaux (eau, électricité, etc.) et services (distribution du courrier, ramassage des ordures, etc.), augmentation des tendances à la ségrégation sociale, etc.

Des avantages aussi...

Si on parle le plus souvent des effets négatifs de l'étalement urbain, il y a aussi des éléments positifs à prendre en considération : une maison individuelle en zone périurbaine permet une culture potagère, plus difficile en ville, ce qui permet de diminuer les



dépenses alimentaires, voire de dégager une marge pour la vente. La maison individuelle avec jardin permet aussi à ceux qui ne disposent pas de moyens financiers pour partir en vacances (50% des ouvriers français) de profiter plus confortablement de la saison estivale qu'en appartement [Piron, 2007]. La biodiversité paraît assez bonne en zone périurbaine.

Ces développements répondent par ailleurs à une demande sociale. Mentionnons enfin que les études qui traitent de périurbanisation n'évaluent en général que les coûts de la désurbanisation et jamais les bénéfices, qui sont, il est vrai, difficiles à quantifier.

Des interrogations quant au vieillissement et au recyclage des tissus périurbains.

Les quartiers périurbains restent récents puisqu'ils datent pour la plupart de la seconde moitié du 20^{ème} siècle. La question du « vieillissement » et du recyclage de ces lotissements commence toutefois à se poser et devrait entraîner des coûts importants, notamment en termes de remplacement des réseaux, de régénération du bâti pour satisfaire à des standards énergétiques plus conformes ou à de nouvelles réalités sociales (ménages plus petits, population plus âgée), etc. Enfin, l'évolution de ces espaces et de leurs populations dans le cadre d'une crise énergétique majeure qui remette en cause la mobilité individuelle reste inquiétante. Ces questions, à l'échelle de la Région wallonne, sont cruciales et devraient également être étudiées dans un cadre plus large puisque la périurbanisation tend aujourd'hui à se généraliser à certains pays d'Europe de l'Est (Pologne) et du sud (Espagne et Italie) voir aux pays émergents comme la Chine.



Références

- Acosta R. [1994]. Politiques foncières comparées : Belgique. ADEF, Paris.
- Bochet B. [2007]. Débat ville étalée – ville compacte : la réponse des projets lausannois ». Revue économique et sociale, n°4, décembre 2007.
- Bouvier T. [2009] Construire des villes européennes durables. Asbl Pour la solidarité, Bruxelles, 490p.
- Cellule Etat de l'Environnement Wallon [2007]. Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. MRW-DGRNE, Namur, 736p.
- Charmes E. [2007]. Le malthusianisme foncier. Etudes Foncières, n° 125, pp 12-16.
- CPDT [2002]. Les coûts de la désurbanisation. Conférence Permanente du Développement Territorial, Région wallonne. Etudes et documents, CPDT n°1, Namur, 135p.



- Decrop J. [2002]. Agglomération et dynamique des activités économiques dans les villes belges. Une approche spatiale sectorielle. Bureau fédéral du plan, working paper, (9-02).
- Doucet P. [1985]. La politique foncière, une nécessité oubliée ? Les Cahiers de l'Urbanisme, n°6, p65-78.
- Dubois O., Hanin Y. [2005]. Centres et périphéries : entre développement territorial soutenable et financement des collectivités locales. Service Public Fédéral Finances, Belgique, 65^e année, n° 2, 2^e trimestre.
- European Environment Agency [2006]. Urban sprawl in Europe. The ignored challenge. Final report, Copenhague.
- Eggerickx T., Capron C. [2001]. Rurbanisation et périurbanisation dans le centre de la Wallonie : une approche socio-démographique. Espaces-populations-sociétés, (1-2), pp 123-137.
- EPSR [2009]. Sustainability Of Land Use and Transport in Outer Neighbourhoods, Final Report : strategic scale, 176p.
- Halleux J-M, Brück L. Mairy N. [2002]. La périurbanisation résidentielle en Belgique à la lumière des contextes suisses et danois : enracinement, dynamiques centrifuges et régulations collectives. Belgeo, (4), pp. 333-354.
- Halleux J-M. [2005]. Le rôle des promotions foncières et immobilières dans la production des périphéries : application à la Belgique et à ses nouveaux espaces résidentiels. Revue Géographique de l'Est, (3-4), 161-174.
- Halleux J-M. [2008]. Marchés fonciers et immobiliers. Cours de géographie économique, université de Liège, 3^e édition.
- Halleux J-M., Lambotte J-M. [2008]. Reconstruire la ville sur la ville. Le recyclage morphologique et le renouvellement des espaces dégradés. Territoire(s) Wallon(s), n°2 : 7-22.
- Hoffner M.E.A., Dol C.P. [2000]. Statistiques du logement dans l'union européenne, 2000. Commission européenne, DG V, Bruxelles.
- Kints C. [2008]. La rénovation énergétique et durable des logements wallons. Analyse du bâti existant et mise en évidence des typologies de logements prioritaires. Etude réalisée pour MRW-DGTRE dans le cadre de l'IEA-SHC-Task 37 et effectuée en collaboration avec le projet LEHR pour le compte de la politique scientifique fédérale.
- Lambert L. [2006]. Quartier durable. Pistes pour l'action locale, Etopia, Etude n°1.
- Mangin D. [2004]. La ville franchisée. Formes et structures de la ville contemporaine, Paris, Eds de la Vilette, 2004.
- Newman P., Kenworthy J. [1999]. Sustainability and cities : over-coming automobile dependence. Island Press.
- Piron O. [2007]. Les déterminants économiques de l'étalement urbain. Etudes Foncières, n° 129, pp 24-26.
- Van der Haeghen H. [1991]. Les franges périurbaines en Belgique : quelques éléments de recherche concernant leur délimitation, leur population et leurs caractéristiques sociales. Espaces, population, société, (2), pp. 259-269.
- Zahavi Y. [1976]. Travel characteristics in cities of developing and developed countries. Staff Working Paper, n°230, World Bank, Washington D.C.



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lema.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be



Auteurs de la fiche

LEMA

Université de Liège

A.F. Marique et Prof. S. Reiter

Chemin des Chevreuils, 1 B52/3

4000 Liège

Afmarique@ulg.ac.be

+32 4 366 93 67

<http://www.lema.ulg.ac.be/>



Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand Public



Général



SAFE.GEN03

Dans la continuité de SAFE : le projet SOLEN (SOLutions for Low Energy Neighbourhoods)



Objectifs du projet

- Développer des solutions visant à améliorer l'efficacité énergétique globale des quartiers résidentiels wallons existants, tant en ce qui concerne le bâti que la mobilité
- Favoriser l'utilisation des énergies renouvelables pour tendre vers les objectifs « quartiers à (très) basse énergie » et « zéro énergie »
- Identifier les techniques et stratégies de renouvellement les plus efficaces selon le type de quartier
- Proposer des résultats clairs et utiles pour tous les acteurs du territoire, y compris le citoyen via la création d'un outil interactif accessible sur le Web



Résumé

Le projet de recherches SOLEN (SOLutions for Low Energy Neighbourhoods) porte sur le développement de solutions visant à améliorer l'efficacité énergétique globale des quartiers résidentiels wallons existants, tant en ce qui concerne le bâti que la mobilité, ainsi qu'à y favoriser l'intégration des énergies renouvelables, dans le but de tendre vers les objectifs « quartiers à (très) basse énergie » et « zéro énergie ». Il s'inscrit dans la continuité du projet de recherches SAFE (www.safe-energie.be) qui a traité de l'efficacité énergétique des quartiers périurbains wallons. Il vise ainsi à préciser et étendre les méthodes et outils développés dans SAFE à l'ensemble des quartiers résidentiels wallons, quelque soit leur type (urbain, rural, etc.). Le projet SOLEN est financé par la Région wallonne dans le cadre du programme mobilisateur ERable. Il débutera en mai 2012.



© Copyright - <http://www.bing.com/maps/>.

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Novembre 2011



Le projet SOLEN

Le projet de recherches SOLEN consiste en une modélisation énergétique globale des quartiers résidentiels wallons. La recherche abordera conjointement consommations énergétiques des bâtiments, stratégies de mobilité durable et recours aux énergies renouvelables. Il proposera, sur cette base, les stratégies de renouvellement les plus adaptées à chaque type de quartier dans le but de tendre vers les objectifs « quartiers wallons à (très) basse énergie » et « zéro énergie ». L'objectif concret de la recherche est de fournir un outil informatique accessible sur le web qui permette d'évaluer l'efficacité énergétique des logements et quartiers existants, d'y favoriser le recours aux énergies renouvelables les plus adaptées à chaque cas et de tester différents scénarios de renouvellement.

1 Contexte et enjeux

Le logement et le transport des personnes sont deux secteurs particulièrement énergivores et émetteurs de gaz à effet de serre, aussi bien en Région Wallonne qu'en Europe. Dans le contexte actuel de prise de conscience des changements climatiques, réduire les consommations d'énergie dans ces deux secteurs apparaît souvent comme une cible politique importante. Force est toutefois de constater que les actions politiques les plus fortes et les recherches scientifiques semblent surtout axées sur la construction neuve, négligeant le potentiel de rénovation des bâtiments, les stratégies de mobilité et l'intégration des énergies renouvelables. De plus, le stock bâti wallon présente des performances énergétiques médiocres (bâti ancien, peu ou pas isolé) et un taux de renouvellement faible ; c'est donc au niveau de la rénovation du stock existant que réside le plus grand potentiel de réduction des consommations d'énergie des bâtiments. En outre, le développement de stratégies durables en termes de mobilité et d'utilisation des énergies renouvelables apporte un complément indispensable à l'étude énergétique du stock bâti existant, pour réduire à grande échelle les émissions de gaz à effets de serre.

2. Les principales phases de la recherche

Trois types de stratégies seront investiguées dans la recherche grâce à des outils de simulation thermique dynamique, d'analyse urbaine et de gisement solaire, d'analyse en cycle de vie et de traitements statistiques :

- les stratégies de rénovation énergétique des quartiers existants ;
- les stratégies applicables en matière de déplacements et de mobilité durable et ;
- la faisabilité de différentes sources d'énergie renouvelable (solaire photovoltaïque et thermique, cogénération, etc.).





Rénovation durable



Mobilité durable



Energies renouvelables

Les gains potentiels obtenus par chaque stratégie et pour différentes combinaisons de stratégies seront quantifiés, en phase d'utilisation et en cycle de vie, pour différents types caractéristiques de quartiers wallons, qu'ils soient urbains, périurbains ou ruraux. La faisabilité des objectifs « (très) basse énergie » et « zéro énergie » sera investiguée de façon à anticiper les débats futurs sur l'actualisation de la Directive sur la Performance Énergétique des Bâtiments (DPEB). Le projet SOLEN comprendra en outre un important travail de sensibilisation et de transmission pour valoriser les résultats de cette recherche vers tous les acteurs de l'aménagement du territoire et de l'énergie, en ce y compris les citoyens.

3. Le livrable

L'objectif concret du projet de recherches SOLEN est d'offrir un outil informatique interactif, accessible sur le Web, qui permette de déterminer, pour une combinaison donnée de critères (type de quartier (urbain, périurbain, rural), densité, caractéristiques et âge du bâti, localisation, offre en transport en commun, etc.) les stratégies de rénovation énergétique les plus efficaces et les sources d'énergie renouvelables les plus adaptées en vue d'améliorer la performance énergétique de ces tissus et de réduire les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle des quartiers.

La diffusion de cet outil vers un grand nombre d'acteurs du territoire soutiendra l'appropriation des solutions par les concepteurs, les décideurs et les citoyens. L'outil permettra aux professionnels (architectes, bureaux d'études, aménageurs, promoteurs, développeurs et installateurs d'énergies renouvelables) et aux autorités publiques en charge de l'énergie et de l'aménagement du territoire de déterminer rapidement les actions à mener et les techniques les plus efficaces à utiliser, selon le type de quartier dans lequel ils interviennent, notamment lors de la planification de projets de rénovation ou de l'instruction de demandes de permis. Les ménages y trouveront des résultats chiffrés et des pistes concrètes pour améliorer l'efficacité énergétique de leur logement et de leurs déplacements et favoriser le recours aux énergies renouvelables.

4. Les partenaires

Le projet SOLEN reconduit la collaboration entre le LEMA (Université de Liège / coordinateur) et Architecture et Climat (Université catholique de Louvain). Les deux partenaires sont actifs dans la recherche en architecture et en urbanisme. Ils ont tous





deux une grande expertise de recherches sur l'efficacité énergétique du milieu bâti. Le LEMA est spécialisé dans la modélisation des fragments urbains (y compris la mobilité), l'étude de la ville, l'aménagement du territoire et le développement d'outils d'aide à la décision. Architecture et Climat a développé des compétences poussées en matière d'efficacité énergétique à l'échelle des bâtiments (y compris ses systèmes) et le développement d'outils d'aide à la conception et de sensibilisation ; ses recherches sont essentiellement centrées sur l'échelle du bâtiment.

Le projet SOLEN est parrainé par deux bureaux d'études spécialisés en développement et architecture durables : MATRIciel et ECORCE.

5. Le financement

Le projet SOLEN est financé par la Région wallonne dans le cadre du programme mobilisateur ERable (2012-2014).



Pour aller plus loin

Liens utiles

- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lema.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be
- MATRIciel : www.matriciel.be
- Ecorce : www.ecorce.be



Auteurs de la fiche

LEMA

Université de Liège
A.F. Marique et Prof. S. Reiter
Chemin des Chevreuils, 1 B52/3
4000 Liège
Afmarique@ulg.ac.be
+32 4 366 93 67
<http://www.lema.ulg.ac.be/>

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain
T. de Meester et Prof. A. De Herde
Place du Levant, 1
1348 Louvain-La-Neuve
Tatiana.demeester@uclouvain.be
+32 10 47 23 34
<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>



Mobilité



Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Utilisateurs de l'outil, chercheurs



Transport et mobilité, évaluation
énergétique



SAFE.MOB01

Comment sont calculées les consommations relatives au transport dans l'outil SAFE ?

Les méthodes «transport» dans SAFE

- Des méthodes ont été développées pour évaluer les consommations d'énergie et les émissions de CO₂ relatives au transport des personnes (domicile - travail et domicile - école)
- Ces méthodes sont exploitées pour développer l'outil interactif (www.safe-energie.be)
- Le mode de transport utilisé, la distance parcourue, la fréquence des déplacements ainsi que les caractéristiques des véhicules privés et publics sont pris en compte dans ces méthodes
- Trois indicateurs sont proposés : un indice de performance, la distance moyenne et les parts modales

Résumé

L'outil interactif (www.safe-energie.be) développé dans le cadre du projet SAFE (Suburban Areas Favoring energy efficiency) doit permettre à différentes catégories d'utilisateurs d'évaluer les consommations énergétiques relatives à leurs déplacements et au chauffage de leur habitation, à comparer ces deux postes et à trouver des pistes d'amélioration concrètes et une quantification des gains énergétiques potentiels relatifs à plusieurs stratégies. L'outil interactif comprend trois outils d'évaluation distincts : une évaluation individuelle rapide, une évaluation individuelle détaillée et une évaluation à l'échelle de tout un quartier. La présente fiche présente les méthodes développées pour calculer les consommations énergétiques relatives aux déplacements des personnes (domicile-travail et domicile-école) dans ces trois outils d'évaluation.



© Copyright - <http://www.safe-energie.be>

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Janvier 2012



Développement de méthodes d'évaluation énergétique des déplacements des personnes

Des méthodes d'évaluation énergétique ont été développées pour évaluer les consommations d'énergie relatives aux déplacements des personnes (déplacements domicile-travail et domicile-école) dans les trois outils d'évaluation proposés sur le site SAFE (www.safe-energie.be). Ces méthodes prennent en compte le mode de transport, la distance parcourue et la fréquence des déplacements pour évaluer, en kWh/personne.trajet l'efficacité énergétique des déplacements d'un utilisateur. Les consommations annuelles de cet utilisateur ou de ce ménage peuvent ensuite être calculées. L'intérêt majeur de ces méthodes est de pouvoir mettre en évidence la relation entre consommations d'énergie relatives aux déplacements des personnes et structure du territoire et notamment, d'évaluer l'impact de l'étalement urbain sur les déplacements des personnes. Ces méthodes et développements ont fait l'objet de publications scientifiques internationales.

L'évaluation individuelle rapide



L'outil d'évaluation individuelle rapide permet une première approche des consommations énergétiques relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école. Cet outil s'adresse principalement à un individu ou un ménage désireux d'estimer de façon très rapide ses consommations énergétiques et d'obtenir quelques pistes d'améliorations concrètes et chiffrées. Les informations à compléter pour obtenir les résultats sont volontairement limitées en nombre et très simples de façon à pouvoir compléter les formulaires rapidement et facilement. Il suffit en effet à l'utilisateur de choisir sa commune de résidence dans la liste déroulante, puis de préciser son choix en sélectionnant l'ancienne commune où il réside. Le calcul des consommations énergétiques relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école s'effectue sur base du choix de la localisation résidentielle. Les valeurs proposées représentent ainsi la consommation moyenne d'un travailleur-type ou d'un écolier-type habitant dans l'ancienne commune sélectionnée.

La méthode d'évaluation a été développée au départ des données du recensement INS de 2001. Ces recensements nationaux





sont réalisés tous les 10 ans et donnent, à l'échelle du secteur statistique, des informations relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école des ménages belges : distance parcourue, mode de transport principal utilisé, possession d'une voiture, etc. ainsi que des informations sur leurs caractéristiques socio-économiques.

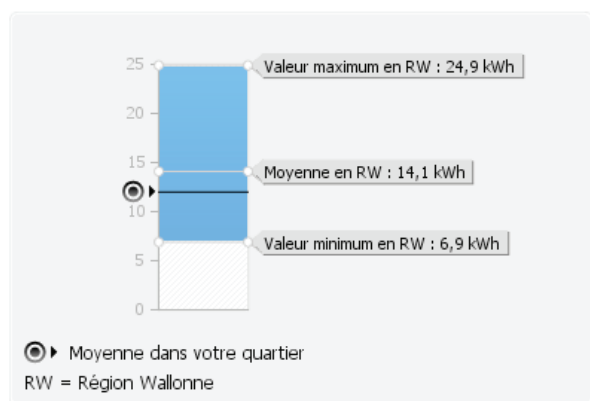
En plus de ces données, et pour convertir des kilomètres parcourus par un mode de transport déterminé en consommation d'énergie, des facteurs de consommations ont été calculés pour chaque mode de transport (voiture diesel, voiture essence, bus, train, vélo, marche à pied) sur base de moyennes régionales de consommations et de facteurs locaux comme le taux de remplissage et les performances des véhicules. Le facteur de consommation d'une voiture diesel a été évalué à 0,56 kWh/personne.km, celui d'une voiture essence à 0,60 kWh/personne.km, celui du bus à 0,45 kWh/personne.km et celui du train à 0,15 kWh/personne.km (voir Marique et Reiter (2012) pour le détail des calculs). Les facteurs de consommations du vélo et de la marche à pied sont évidemment nuls comme ces modes de transport ne consomment pas d'énergie. Des facteurs d'émissions ont également été déterminés de façon à convertir les kilomètres parcourus par mode de transport en émissions de CO₂.

Trois indicateurs peuvent être déduits de ces données :

- Un indice de performance, dérivé de Boussaux et Witlox (2009), qui exprime, en kWh/personne.trajet l'efficacité énergétique des déplacements domicile-travail (ou domicile-école) dans une entité territoriale déterminée (ici l'ancienne commune).

Domicile - Travail

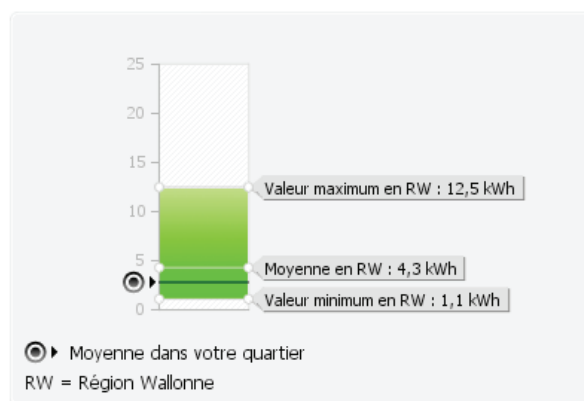
● Consommation énergétique



En moyenne, un habitant de votre quartier consomme **12 kWh** par trajet domicile - travail. Sa consommation annuelle s'élève à **5760 kWh** (sur base d'un travail à temps plein).

Domicile - Ecole

● Consommation énergétique



En moyenne, un écolier/étudiant de votre quartier consomme **2.8 kWh** par trajet de son domicile à l'école. Sa consommation annuelle s'élève à **1008 kWh**.

Exemple : Indice de performance, en kWh/personne.trajet, pour les déplacements domicile-travail (à gauche) et domicile-école (à droite). L'indice de performance de l'ancienne commune sélectionnée est positionné sur une échelle graphique, ce qui permet la comparaison avec l'indice de performance moyen et les valeurs minimum et maximum calculées en Région wallonne.

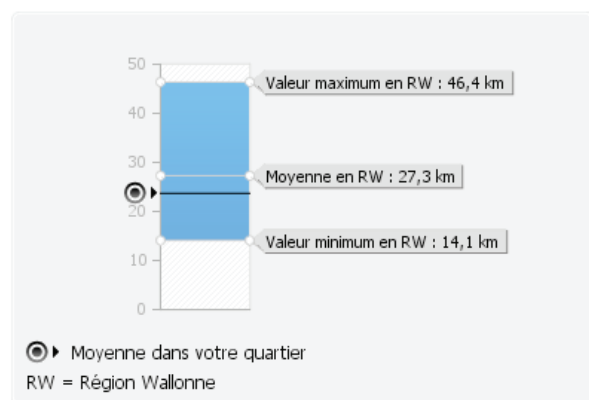


Cet indicateur est exprimé par l'équation suivante, où i représente l'ancienne commune considérée, m le moyen de transport utilisé, D_{mi} la distance totale parcourue par le mode de transport m dans l'ancienne commune i pour les déplacements domicile-travail (ou domicile-école), f_m le facteur de consommation relatif au mode de transport m et T_i le nombre de travailleurs (ou d'étudiants) dans l'ancienne commune i .

$$\text{Indice de performance (i)} = (\sum m D_{mi} * f_m) / T_i$$

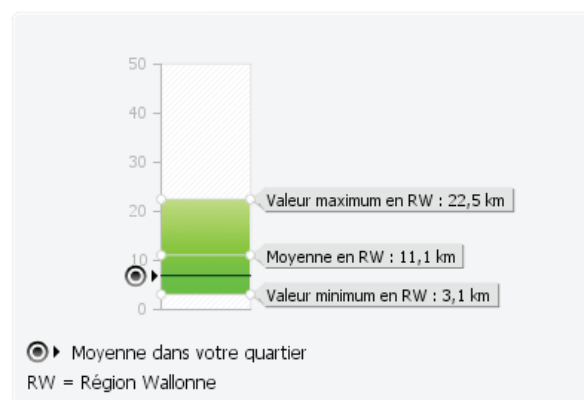
- La distance moyenne parcourue (en kilomètres) dans l'ancienne commune sélectionnée pour les déplacements domicile-travail (ou domicile-école) est obtenue en divisant la somme des distances domicile-travail (ou domicile-école) dans l'ancienne commune par le nombre de travailleurs (ou d'élèves).

Distance parcourue



Il parcourt en moyenne 23.7 km de son domicile à son lieu de travail.

Distance parcourue



Il parcourt en moyenne 6.9 km de son domicile à l'école.

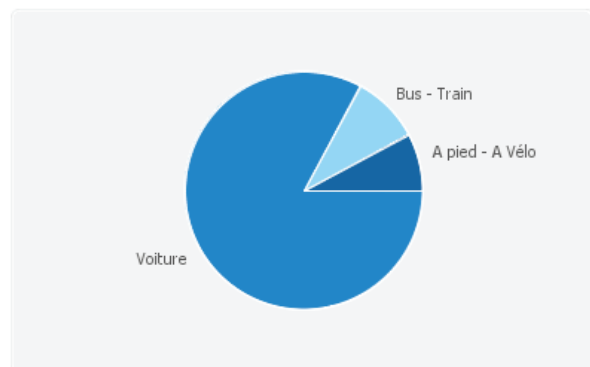
Exemple : Distance moyenne parcourue, en km, pour les déplacements domicile-travail (à gauche) et domicile-école (à droite)

- L'indice des parts modales représente (en %) la fréquence d'utilisation de chaque mode de transport dans l'ancienne commune sélectionnée, pour les déplacements domicile-travail (ou domicile-école), selon l'équation suivante ou ND_m est le nombre de trajets réalisé par le mode m .

$$\text{Indice des parts modales (i)} = ND_m / \sum ND$$



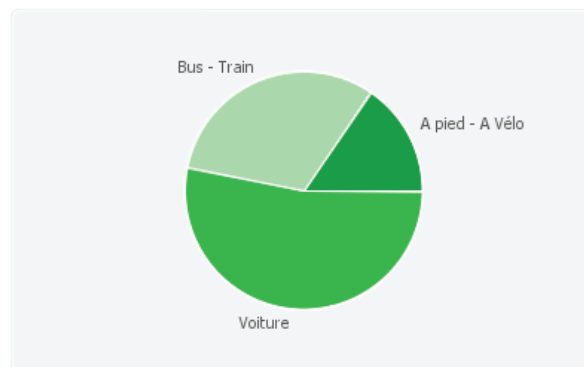
● Répartition des parts modales pour les déplacements
domicile-travail



En moyenne, dans votre quartier:

- La part modale de la voiture est de 82.8 %
- La part modale des transports en commun est de 9.3 %
- La part modale pour les déplacements à pied et à vélo est de 7.9 %

● Répartition des parts modales pour les déplacements
domicile-école



En moyenne, dans votre quartier:

- La part modale de la voiture est de 53.1 %
- La part modale des transports en commun est de 31.3 %
- La part modale pour les déplacements à pied et à vélo est de 15.6 %

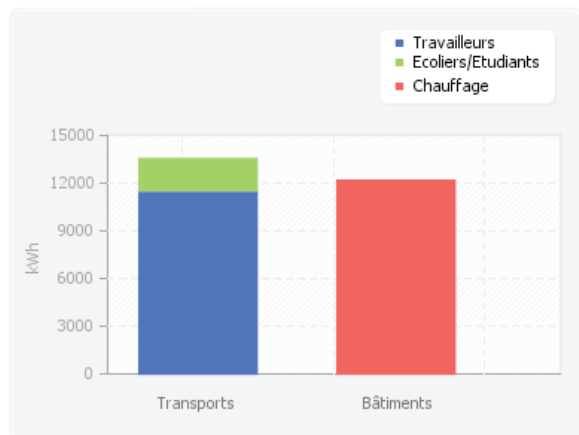
Exemple : Répartition des parts modales, en %, pour les déplacements domicile-travail (à gauche) et domicile-école (à droite)

Afin de permettre une comparaison des consommations énergétiques relatives aux déplacements de l'utilisateur avec les consommations énergétiques relatives au chauffage de ces bâtiments (onglet 3, comparaison), une unité commune a été choisie : le kWh. Les consommations relatives aux déplacements des personnes sont donc ramenées à une consommation annuelle, exprimée en kWh. La comparaison « transport / logement » peut également être exprimée en émissions de CO₂.

Les hypothèses suivantes sont utilisées pour la comparaison « transport / logement » dans l'outil d'évaluation rapide :

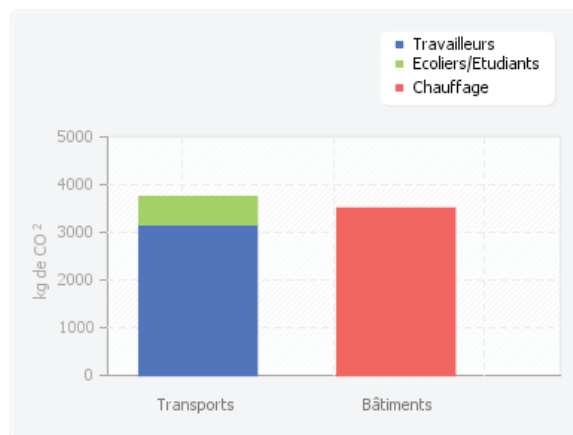
- Le ménage-type est constitué de deux adultes qui travaillent à temps plein et de deux enfants scolarisés
- Un travailleur-type à temps-plein effectue 10 trajets simples domicile-travail par semaine, 48 semaines par an
- Un écolier-type effectue 10 trajets simples domicile-école par semaine, 36 semaines par an.

● Consommations énergétiques



Un ménage-type dans votre quartier (2 travailleurs à temps plein et 2 écoliers / étudiants) consomme annuellement **13536 kWh** pour l'ensemble de ses déplacements domicile-travail et domicile-école. Les consommations dues au chauffage et à la ventilation de son habitation s'élèvent à **12171 kWh/an**.

● Emissions de CO₂



Un ménage-type dans votre quartier (2 travailleurs à temps plein et 2 écoliers / étudiants) émet annuellement **3744 kg de CO₂** pour l'ensemble de ses déplacements domicile-travail et domicile-école. Le chauffage et la ventilation de son habitation émettent **3502 kg de CO₂/an**.

Exemple : Comparaison des consommations énergétiques annuelles en kWh (à gauche) et des émissions de CO₂ annuelles en kg de CO₂ (à droite) relatives aux déplacements d'un ménage-type et au chauffage de son logement.

L'évaluation individuelle détaillée



L'outil d'évaluation individuelle détaillée permet d'estimer les consommations énergétiques relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école d'un utilisateur de façon plus précise et personnalisée que l'évaluation individuelle rapide. Les informations à compléter pour obtenir les résultats sont plus importantes en nombre et plus spécifiques. Cet outil s'adresse principalement à un individu ou un ménage désireux d'estimer de façon plus précise ses consommations énergétiques et d'obtenir quelques pistes d'améliorations concrètes et chiffrées.

Dans cet outil d'évaluation détaillée, les données d'entrée proviennent de l'utilisateur et plus des recensements INS. L'utilisateur est donc amené à entrer la composition de son ménage (nombre de travailleurs et nombres d'enfants scolarisés), puis, pour



chaque personne à préciser ses habitudes de déplacements : mode de transport principal, distance parcourue, fréquence de déplacements. Dans cet outil d'évaluation, quatre compléments sont proposés :

- La possibilité d'entrer un mode de transport secondaire. Cette option doit être sélectionnée si l'utilisateur utilise deux modes de transport différents au cours d'un même trajet (par exemple la voiture du domicile à la gare puis le train de la gare au lieu de travail) ou s'il utilise deux modes de transport différents au cours de la semaine (par exemple deux jours en bus et trois jours en voiture).
- La possibilité de préciser la consommation de son véhicule.
- La possibilité de préciser, dans le cas où le bus est utilisé, s'il se situe en milieu urbain ou en milieu périurbain ou rural de façon à adapter le taux de remplissage pris en compte dans l'évaluation.
- La possibilité d'entrer des données relatives au covoiturage.

Les mêmes facteurs de consommations que ceux présentés ci-dessus sont utilisés pour convertir les distances parcourues en différents modes de transport en consommation d'énergie et pouvoir les agréger pour obtenir la consommation d'énergie relative aux déplacements de l'ensemble du ménage.

La page de résultats propose d'abord deux graphiques présentant les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ annuelles relatives aux déplacements de l'ensemble du ménage. La contribution de chaque individu est identifiée sur ces graphiques. L'indice de performance relatif à chaque personne (travailleur et écolier) du ménage est ensuite proposé.

L'onglet « comparaison » propose une comparaison des consommations énergétiques relatives aux déplacements du ménage (sur base des données entrées par l'utilisateur dans le formulaire) avec les consommations énergétiques relatives au chauffage de son logement.

L'évaluation d'un quartier





L'outil d'évaluation d'un quartier permet de réaliser une évaluation énergétique de tout un quartier, en ce qui concerne les consommations énergétiques relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école de ses habitants. Cet outil s'adresse principalement aux professionnels de la construction et de l'aménagement du territoire désireux d'estimer de façon rapide les consommations énergétiques d'un quartier existant, en projet ou soumis à rénovation (rénovation énergétique, densification, etc.) et d'obtenir quelques pistes d'améliorations concrètes et chiffrées.

Il convient de renseigner dans le formulaire la commune et l'ancienne commune dans laquelle se situe le quartier, puis de préciser la composition du quartier (nombre de travailleurs et d'écoliers). La méthode de calcul est similaire à celle utilisée dans l'évaluation individuelle rapide et présentée ci-dessus.

La page de résultats présente d'abord les consommations et émissions de CO₂ annuelles relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école des habitants du quartier. La contribution des déplacements domicile-travail et celle des déplacements domicile-école sont identifiées. Ces calculs sont réalisés sur base des mêmes hypothèses que celles présentées dans l'évaluation individuelle rapide.

Limites des méthodes proposées

Les méthodes proposées présentent l'avantage de pouvoir quantifier les consommations d'énergie et émissions de CO₂ relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école d'un ménage. La comparaison consommations d'énergie et émissions de CO₂ dans les secteurs du transport des personnes et du logement (chauffage du bâtiment) est ainsi possible. Les méthodes proposées sont paramétrées ce qui permet d'évaluer différents scénarios d'amélioration en adaptant les paramètres adéquats (distance parcourue, performance des véhicules, etc.). Toutefois, il convient de remarquer les limitations suivantes et d'y être attentifs lors de l'étude des résultats proposés sur le site :

- Nos outils d'évaluation ne prennent actuellement en compte que deux motifs de déplacements (domicile-travail et domicile-école) alors qu'ils ne constituent qu'une partie de la mobilité journalière d'un ménage. D'autres motifs de déplacements (commerces, loisirs) seront pris en compte et ajoutés aux outils ultérieurement.
- Les outils d'évaluation proposés sont dédiés aux quartiers périurbains. Ils sont applicables en milieu rural ou urbain mais différents facteurs (notamment le taux de remplissage des bus) sont spécifiques au milieu périurbain ce qui est légèrement défavorable au milieu urbain où les bus sont généralement plus remplis.
- L'effet de la congestion n'est pas pris en compte dans nos outils d'évaluation.
- L'évaluation individuelle rapide et l'évaluation à l'échelle d'un quartier se basent sur des données INS et des moyennes régionales (facteurs de consommation et d'émissions) et proposent donc des moyennes calculées à l'échelle de l'ancienne commune. Ces moyennes peuvent parfois s'éloigner significativement des consommations réelles d'un ménage. L'intérêt



principal de cet approche est toutefois de pouvoir comparer, pour des hypothèses données, l'efficacité énergétique des déplacements domicile-travail et domicile-école dans plusieurs localisations résidentielles. Nous vous conseillons aussi de tester l'évaluation individuelle détaillée qui permet d'adapter de façon plus précise l'évaluation à chaque cas particulier.



Références

- Boussauw K, Witlox F. 2009. Introducing a commute-energy performance index for Flanders. Transportation Research Part A, 43, 580-91.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2012. A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. Environmental Impact Assessment Review 33, 1-6.



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier les deux fiches suivantes qui sont consacrées au transport et à la mobilité en milieu périurbain :

- SAFE.MOB02 : Consommations d'énergie dans le transport et structure du territoire
- SAFE.MOB03 : Comment réduire vos consommations d'énergie « transport » ?

Les méthodes utilisées pour évaluer les consommations d'énergie relatives au chauffage du logement sont présentées dans la fiche suivante :

- SAFE.BAT02 : Comment sont calculées vos consommations « logement » dans notre outil ?

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatp
- LEMA : www.lemma.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be





Références et publications scientifiques de l'équipe en lien avec cette fiche

- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2012b. A method to evaluate the energy consumption of suburban neighborhoods. HVAC&R Research Journal 18 (1-2): P.88-99.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2012. A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. Environmental Impact Assessment Review 33, 1-6.
- Marique, A.-F., Dujardin, S., Teller, J., & Reiter, S. 2011. Urban Sprawl and Travel Energy Consumption: the Case of the Walloon Region of Belgium. Irish Transport Research Network Conference, Energy & Transport, Programme and Proceedings, Cork, Ireland.
- Wallemacq, V., Marique, A.-F., & Reiter, S. 2011. Development of an urban typology to assess residential environmental performance at the city scale. In Bodard, M., Evrard A. (Ed.), Proceedings of International Conference PLEA 2011 : Architecture & Sustainable Development (pp. 119-125). Presses Universitaires de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgium.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2010. A method to assess transport energy consumptions in suburban areas. Proceedings of the PLUREL International Conference: Managing the Urban Rural Interface, Copenhagen, Denmark.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2010. A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighbourhood scale. Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in buildings, Syracuse, USA.



Auteurs de la fiche

LEMA

Université de Liège

A.F. Marique et Prof. S. Reiter

Chemin des Chevreuils, 1 B52/3

4000 Liège

Afmarique@ulg.ac.be

+32 4 366 93 67

<http://www.lemma.ulg.ac.be/>





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Chercheurs



Transport et mobilité, évaluation
énergétique



SAFE.MOB02

Consommations d'énergie pour le transport et structure du territoire en Wallonie



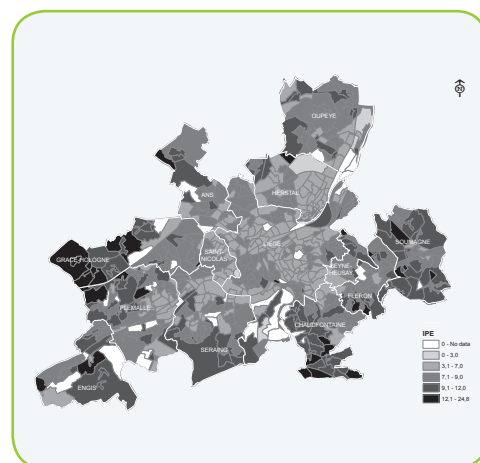
Principaux résultats

- Un indice de localisation est présenté et cartographié à l'échelle de l'ancienne commune
- Des liens étroits sont mis en évidence entre consommations d'énergie pour les déplacements domicile-travail et domicile-école et structure du territoire
- Les déplacements domicile-école sont moins consommateurs que les déplacements domicile-travail
- La voiture est le mode de transport le plus couramment utilisé pour les deux types de déplacements
- La distance parcourue est un élément particulièrement déterminant, alors que le mode de transport utilisé a une influence plus limitée



Résumé

La fiche présente l'indice de localisation développé dans le cadre du projet SAFE (voir fiche SAFE.MOB01). Cet indice a été calculé pour chaque commune, ancienne commune et secteur statistique de la Région wallonne. Il est exprimé en kWh/personne.trajet et permet de comparer différentes localisations résidentielles sur base de leurs consommations d'énergie pour les déplacements. La cartographie de cet indice de localisation met en évidence des liens étroits entre consommations d'énergie pour les déplacements (travail et école) et structure du territoire. Une comparaison entre les consommations relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école est proposée. L'évolution 1991-2001 est discutée. Les principaux paramètres qui influent sur ces consommations énergétiques sont enfin étudiés.



© Copyright - <http://www.safe-energie.be>

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Janvier 2012



Définition et cartographie d'un indice de localisation

L'indice de localisation (kWh/personne.trajet) exprime l'efficacité énergétique des déplacements domicile-travail et domicile-école de l'entité territoriale considérée. Cet indice a été cartographié à l'échelle de l'ancienne commune de façon à investiguer la relation entre consommation d'énergie pour les déplacements domicile-travail et domicile-école et structure du territoire. Ce sont les anciennes communes les plus denses et peuplées, situées le long de l'ancien sillon industriel qui présentent les plus faibles consommations. Au contraire, les zones peu denses situées en périphérie des zones urbaines présentent un indice de localisation nettement plus élevé. Une approche plus locale permet d'affiner ces observations en mettant en évidence des pôles secondaires qui présentent aussi un bon comportement en termes de consommations d'énergie pour les déplacements domicile-travail. De manière générale, les déplacements domicile-école sont moins consommateurs que les déplacements domicile-travail. La distance parcourue est le facteur le plus influent. Le mode de transport a une influence plus limitée.

L'indice de localisation

Un indice de localisation a été défini sur base de la méthode d'évaluation énergétique des déplacements domicile-travail présentée dans la fiche SAFE.MOB01 (voir aussi Marique and Reiter, 2012). Cet indice est calculé sur base des données du recensement INS de 2001 et des caractéristiques des véhicules publics et privés. Il est calculé pour chaque commune, ancienne commune et secteur statistique de la Région wallonne. Il est exprimé en kWh/personne.trajet et permet de comparer différentes localisations résidentielles sur base de leurs consommations d'énergie pour les déplacements domicile-travail et domicile-école. Plus l'entité territoriale est colorée en foncé, plus la consommation d'énergie relative au type de déplacement considéré est importante. Cet indice se rapproche de l'index « commute-energy performance index » défini par Boussauw et Witlox (2009) et appliqué au territoire de la Région flamande et de Bruxelles-Capitale. Il vise à investiguer le lien entre structure spatiale et consommation d'énergie pour les déplacements domicile-travail et domicile-école.

Les déplacements domicile-travail

L'indice de localisation cartographié pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de l'ancienne commune, permet de mettre en évidence le bon comportement (en blanc et gris clair sur la figure 1) des communes et quartiers les plus denses et peuplés de la Région wallonne, à savoir ceux situés le long de l'ancien sillon industriel, de Mouscron jusqu'aux cantons de l'est, et particulièrement autour de Liège. Les quartiers centraux des communes de taille moyenne (pôles secondaires) situées le long de ce sillon (Verviers, La Louvière) ou dans le sud de la Région (comme Marche, Arlon ou Bastogne) présentent également un bon comportement. De plus, on peut également mentionner que la relocalisation d'emplois, essentiellement dans le Brabant wallon, permet de réduire les distances à parcourir en permettant à une partie des travailleurs de trouver de l'emploi localement, ce qui réduit l'indice de performance des communes concernées (par exemple Nivelles et Wavre). Certaines communes frontalières de



l'est (proximité de l'Allemagne) ou du nord-ouest (proximité de la Flandre) semblent également peu consommatrices, en termes d'énergie consommée pour les déplacements domicile-travail mais les effets « frontières » pourraient intervenir. Il est en effet probable que dans les régions proches de la Flandre ou de l'Allemagne, les navetteurs soient moins enclins à chercher du travail dans des régions dont ils ne maîtrisent pas la langue et parcourent donc de moins longues distances.

Les communes qui présentent les plus fortes consommations (en gris foncé et en noir sur la figure 1) sont localisées dans la périphérie sud-est de Bruxelles, qu'elles soient situées dans les provinces de Brabant wallon, de Liège ou de Namur, et dans le sud-Luxembourg, ainsi qu'à proximité d'Arlon et du Grand-Duché du Luxembourg (orbite de Luxembourg-Ville). En effet, le prix élevé des terrains à proximité des villes de Bruxelles et Luxembourg, où de nombreux emplois sont localisés, tend à encourager les travailleurs à s'éloigner de ces pôles, et donc à parcourir des distances domicile-travail plus importantes, pour trouver un terrain à prix abordable. On peut ainsi déceler l'influence des centres urbains, où se concentrent une majorité d'emplois, sur les consommations d'énergie des déplacements domicile-travail. Les communes les plus « consommatrices » sont en effet des communes périphériques, où les distances à parcourir pour se rendre dans le pôle le plus proche (Bruxelles, Luxembourg mais aussi Liège, Charleroi, Namur,) sont importantes.

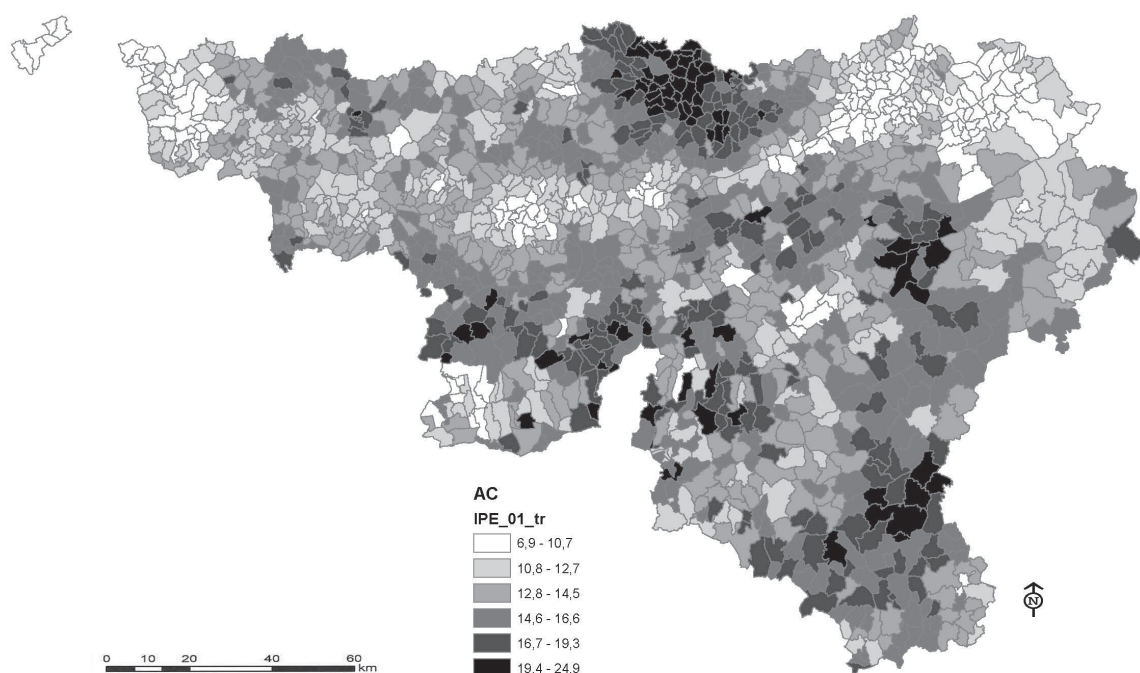


Figure 1 : Cartographie de l'indice de localisation (kWh/p.tr) pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de l'ancienne commune

La consommation annuelle des déplacements domicile-travail par ancienne commune est présentée sur la figure 2. Cet indicateur est obtenu en multipliant l'indice de performance de chaque ancienne commune par le nombre de travailleurs qui y habitent (en tenant compte de leurs temps de travail). Les observations présentées précédemment sont ici inversées. Ce sont en effet dans les communes et quartiers les plus denses et peuplés que l'on trouve les consommations annuelles les plus élevées, compte tenu évidemment du grand nombre de travailleurs qui y habitent. C'est donc dans ces zones que l'impact potentiel des politiques à prendre pour réduire les consommations d'énergie relatives aux déplacements domicile-travail pourrait être le plus important. La consommation d'énergie annuelle relative à l'ensemble des déplacements domicile-travail de la Région wallonne a été évaluée à environ 6.800 GWh.

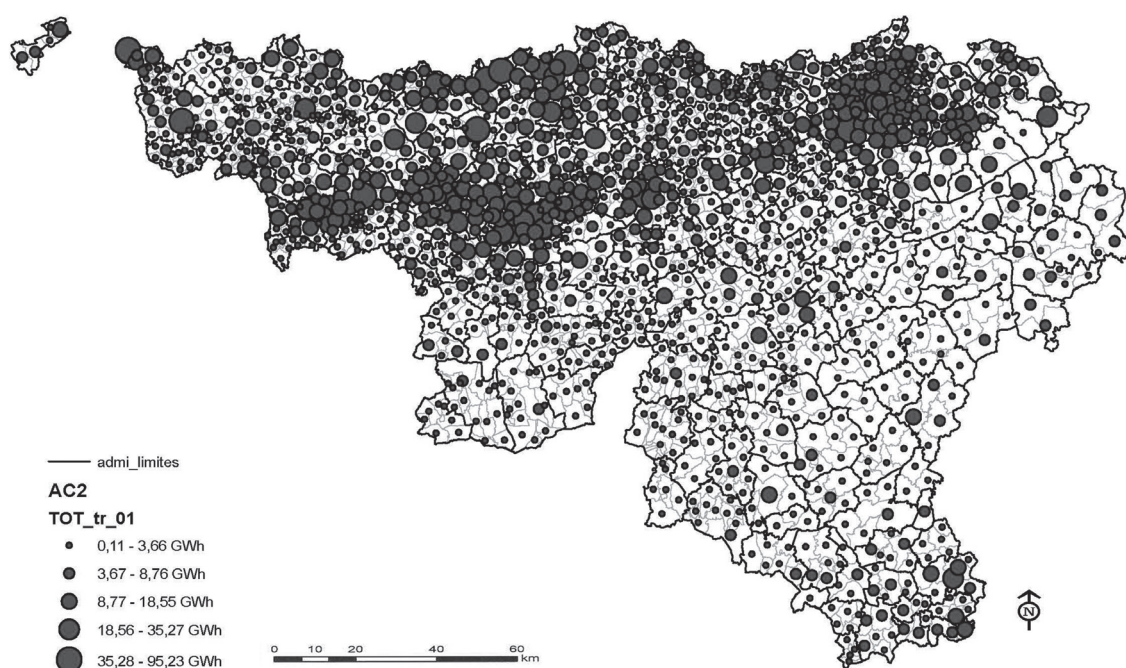


Figure 2 : Consommation d'énergie annuelle (GWh) pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de l'ancienne commune

Les déplacements domicile-école

Les observations présentées ci-dessus concernant les liens entre structure du territoire et consommations d'énergie pour les déplacements domicile-travail sont également valables pour les déplacements domicile-école : ce sont également dans les communes et quartiers les plus denses et peuplés de la Région wallonne que l'on trouve les plus faibles consommations d'énergie pour les déplacements domicile-école (en gris clair sur la figure 3). Toutefois, les déplacements domicile-école consomment beaucoup moins d'énergie par personne que les déplacements domicile-travail, principalement en raison de distances à parcourir nettement plus faibles. L'indice de performance moyen pour les déplacements domicile-travail s'élève à 12,1 kWh/per-

sonne.trajet alors que l'indice de performance moyen des déplacements domicile-école ne vaut que 3,5 kWh/personne.trajet. La consommation d'énergie annuelle pour les déplacements domicile-école a été évaluée à 766 GWh. Contrairement aux emplois qui restent concentrés dans les centres-villes et dans certains pôles plus périurbains, chaque commune est équipée en établissements scolaires, ce qui réduit les distances à parcourir entre le domicile et la destination. La distance moyenne parcourue pour un déplacement domicile-travail en Région wallonne est de 24 kilomètres contre seulement 8,2 kilomètres de moyenne pour un déplacement domicile-école.

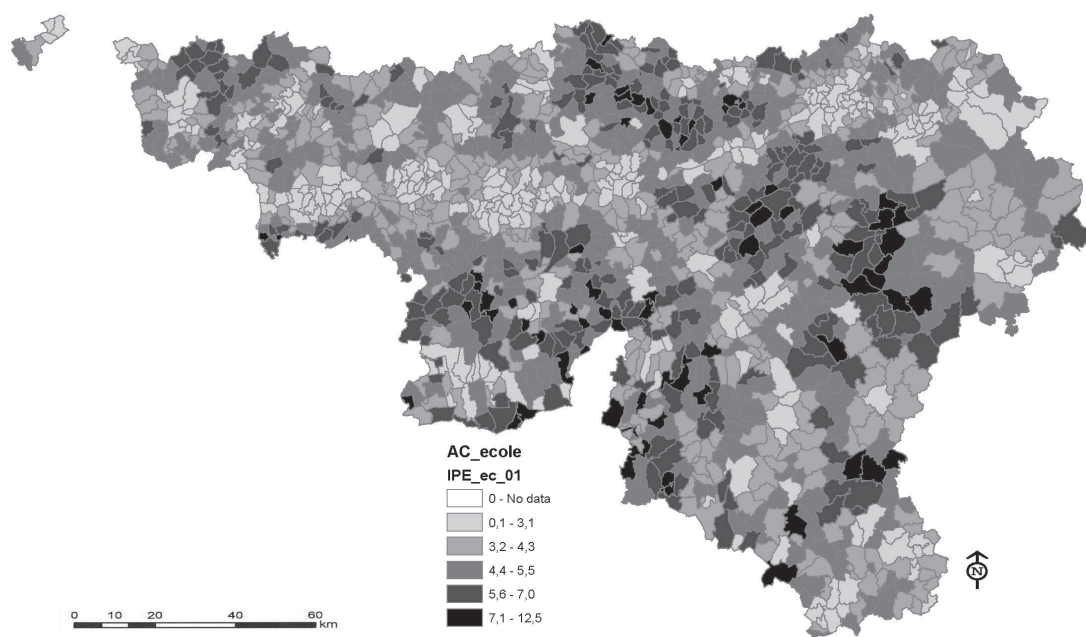


Figure 3 : Cartographie de l'indice de localisation (kWh/p.tr) pour les déplacements domicile-école, à l'échelle de l'ancienne commune

Les parts modales

En termes de parts modales, des différences peuvent être mises en évidence entre les déplacements domicile-travail et domicile-école. Si la voiture est le moyen de transport le plus utilisé pour les deux types de déplacements (85,2% pour les déplacements domicile-travail et 55,8% pour les déplacements domicile-école), l'utilisation des modes de transport non motorisés (marche à pied, vélo) est plus importante pour les déplacements scolaires (14,7%) que pour les déplacements domicile-travail (4,7%). Le bus est plus utilisé pour les déplacements scolaires (21,8%) que pour les déplacements domicile-travail (2,3%) alors que le train est utilisé de façon relativement similaire (6% pour le travail et 7,6% pour l'école).

L'évolution temporelle

La figure 4 présente l'évolution de l'indice de performance des déplacements domicile-travail entre 2001 et 1991. On remarque une augmentation significative de cet indice dans la plupart des anciennes communes de Wallonie, et en particulier dans celles du sud de la Région. De nombreux lotissements ont en effet été développés dans cette zone pour répondre à la demande croissante de travailleurs belges recherchant un terrain à prix abordable à proximité du Grand-Duché de Luxembourg. La consommation d'énergie annuelle pour les déplacements domicile-travail a augmenté de 26,2% entre 1991 et 2001. La consommation annuelle pour les déplacements domicile-école suit la même tendance avec une augmentation de 23%. L'usage de la voiture a augmenté de façon significative pour ces deux motifs de déplacements au détriment des modes de transport non motorisés principalement.

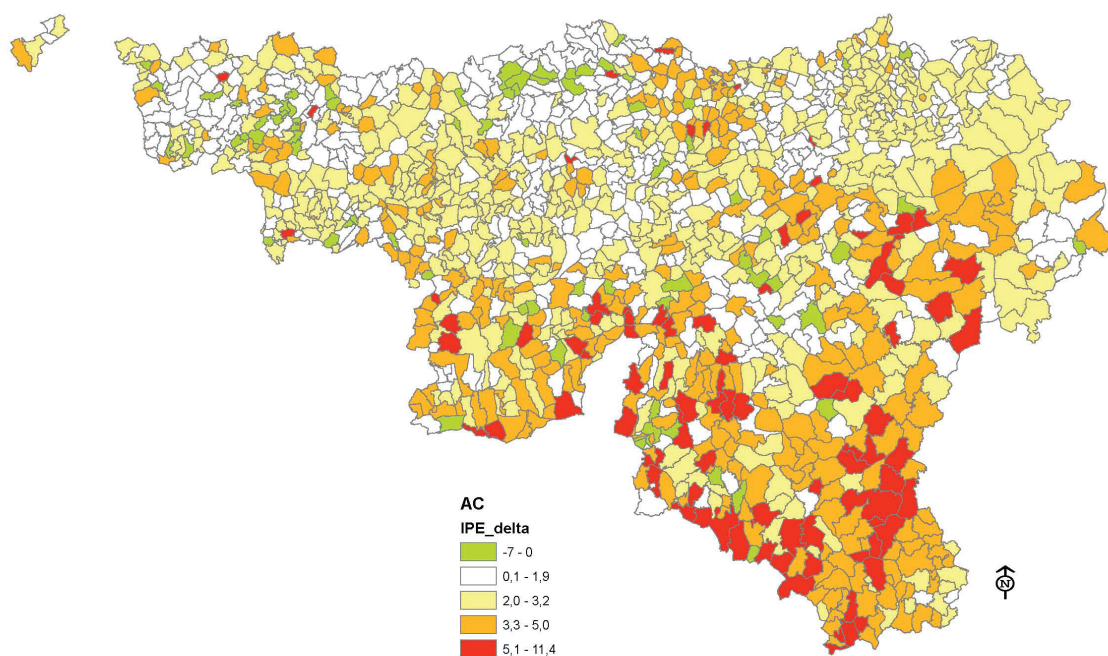


Figure 4 : Evolution de l'indice de localisation (kWh/p.tr) entre 2001 et 1991 pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de l'ancienne commune

Les paramètres les plus influents

L'aspect général des cartes présentant les indices de localisation des déplacements domicile-travail et domicile-école est très similaire aux cartes des distances parcourues pour ces deux types de déplacement (exemple : figure 5 pour la distance parcourue pour les déplacements domicile-travail). L'indice de performance des déplacements est en effet très lié à la distance parcourue.

ru. Les études de sensibilité menées dans le cadre de la recherche SAFE et des publications qui y sont relatives (en particulier Marique and Reiter, 2012 et Marique and Reiter, 2012b) ont en effet mis en évidence que la distance parcourue est l'élément qui influe le plus sur les consommations d'énergie pour les déplacements. Le mode de transport utilisé a un impact moindre. A titre d'exemple, le coefficient de consommation (voir fiche SAFE.MOB01) défini pour le train est environ 4 fois plus faible que celui défini pour la voiture mais les distances parcourues en train sont significativement plus importantes que celles parcourues en voiture. Un meilleur taux de remplissage des transports en commun pourrait enfin réduire les facteurs de consommations de ces modes et donc les consommations d'énergie relatives au transport.

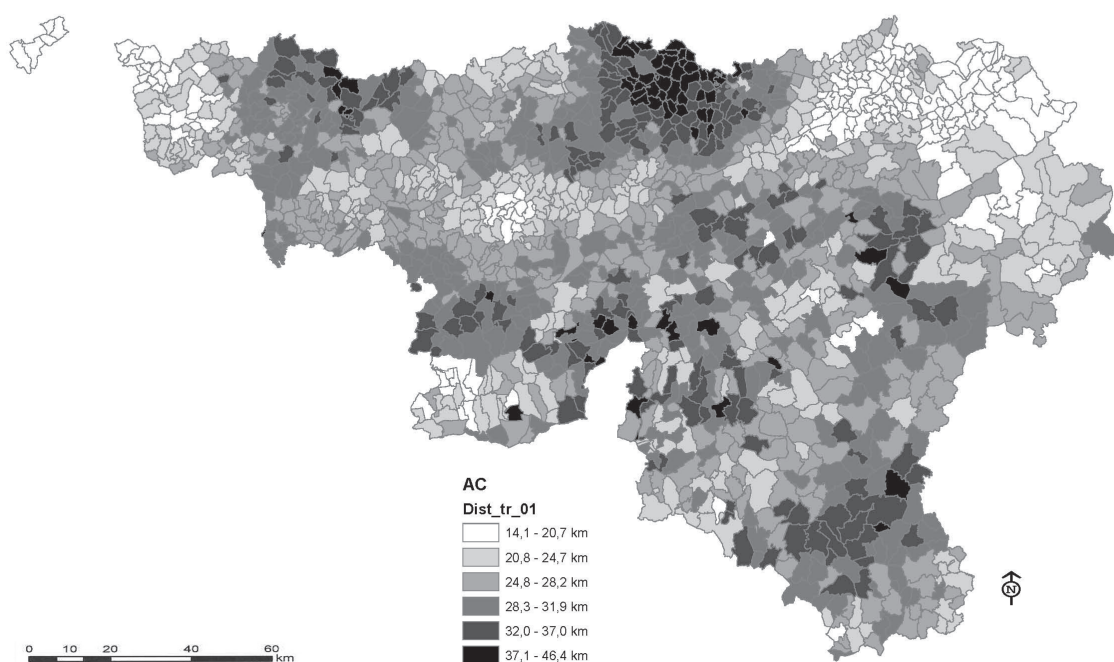


Figure 5 : Distance moyenne parcourue (kilomètres) pour les déplacements domicile-travail, à l'échelle de l'ancienne commune



Conclusions et perspectives

Un indice de localisation a été défini et cartographié à différentes échelles territoriales en Région wallonne. Cet indice permet de mettre en évidence des liens étroits entre structure du territoire et consommation d'énergie pour les déplacements domicile-travail et domicile-école. Les principales conclusions de notre étude ont mis en évidence que la distance à parcourir est l'élément qui influe le plus sur les consommations d'énergie dans les transports. A cet égard, favoriser une meilleure mixité fonctionnelle à l'échelle des quartiers de vie est une stratégie pertinente à promouvoir pour réduire les distances à parcourir et encourager un report modal significatif vers les modes de transport non motorisés (vélo et marche à pied).



Références

- Boussauw K, Witlox F. 2009. Introducing a commute-energy performance index for Flanders. Transportation Research Part A. 43: 580-91.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2012b. A method to evaluate the energy consumption of suburban neighborhoods. HVAC&R Research Journal 18 (1-2): P.88-99.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2012. A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. Environmental Impact Assessment Review 33, 1-6.



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier les deux fiches suivantes qui sont consacrées au transport et à la mobilité en milieu périurbain :

- SAFE.MOB01 : Comment sont calculées les consommations « transport » dans l'outil SAFE ?
- SAFE.MOB03 : Comment réduire vos consommations d'énergie « transport » ?

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lema.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be

Références et publications scientifiques de l'équipe en lien avec cette fiche

- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2012b. A method to evaluate the energy consumption of suburban neighborhoods. HVAC&R Research Journal 18 (1-2): P.88-99.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2012. A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. Environmental Impact Assessment Review 33, 1-6.





- Marique, A.-F., Dujardin, S., Teller, J., & Reiter, S. 2011. Urban Sprawl and Travel Energy Consumption: the Case of the Walloon Region of Belgium. Irish Transport Research Network Conference, Energy & Transport, Programme and Proceedings, Cork, Ireland.
- Wallemacq, V., Marique, A.-F., & Reiter, S. 2011. Development of an urban typology to assess residential environmental performance at the city scale. In Bodard, M., Evrard A. (Ed.), Proceedings of International Conference PLEA 2011 : Architecture & Sustainable Development (pp. 119-125). Presses Universitaires de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgium.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2010. A method to assess transport energy consumptions in suburban areas. Proceedings of the PLUREL International Conference: Managing the Urban Rural Interface, Copenhagen, Denmark.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2010. A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighbourhood scale. Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in buildings, Syracuse, USA.



Auteurs de la fiche

LEMA

Université de Liège

A.F. Marique et Prof. S. Reiter

Chemin des Chevreuils, 1 B52/3

4000 Liège

Afmarique@ulg.ac.be

+32 4 366 93 67

<http://www.lemma.ulg.ac.be/>





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Utilisateurs de l'outil, chercheurs



Transport et mobilité, évaluation énergétique, outil interactif, efficacité énergétique



SAFE.MOB03

Comment réduire vos consommations d'énergie relatives au transport ?



Six types de scénarios ont été investigués :

- La localisation pertinente des activités sur le territoire (favoriser la mixité fonctionnelle)
- Les distances parcourues entre le domicile et le lieu de travail ou l'école
- Les performances des véhicules publics et privés
- Le report modal vers les transports en commun et les modes doux
- Le covoiturage pour les déplacements domicile-travail
- Le télé-travail ou travail à domicile, un ou plusieurs jours par semaine



Résumé

L'outil interactif (www.safe-energie.be) développé dans le cadre du projet SAFE permet notamment à différentes catégories d'utilisateurs d'évaluer les consommations d'énergie relatives à leurs déplacements domicile-travail et domicile-école. Dans le dernier onglet des outils d'évaluation présents sur le site web, des pistes d'amélioration sont proposées et les gains potentiels relatifs à plusieurs scénarios sont quantifiés. Cette fiche présente les différents scénarios qui ont été abordés, les hypothèses qui les sous-tendent et les résultats obtenus. Six types de scénarios ont été investigués : la localisation, les distances parcourues, les performances des véhicules, le report modal, le covoiturage et le télé-travail. Les gains énergétiques potentiels sont présentés, à titre d'exemple, pour 4 quartiers périurbains wallons.



Les 6 thèmes étudiés pour réduire les consommations de transport des ménages wallons

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4, programme mobilisateur energywall

Janvier 2012



Six pistes pour réduire les consommations d'énergie relatives aux déplacements des ménages : introduction

Six types de scénarios visant à réduire les consommations d'énergie relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école ont été investigués. La localisation des activités sur le territoire a une influence très importante sur les déplacements des personnes, tant en termes de distances parcourues qu'en terme de choix modal. A cet effet, favoriser une meilleure mixité fonctionnelle à l'échelle des quartiers de vie est une stratégie à promouvoir pour réduire les distances à parcourir entre les différents lieux que fréquentent un ménage (résidence, travail, école, commerces, loisirs, etc.) et encourager un report modal accru vers les modes doux. D'autres stratégies s'avèrent également efficaces : favoriser les avancées techniques permettant de réduire la consommation et les émissions de CO₂ des véhicules tant privés que publics, encourager un report modal accru vers les transports en commun et surtout les modes doux, encourager le covoiturage et le télé-travail. A titre d'exemple, ces stratégies ont été appliquées dans cette fiche à 4 quartiers périurbains wallons « tests ».

Dans le contexte actuel d'intérêts croissants en matière de développement durable et de changements climatiques, réduire les consommations d'énergie relatives au transport, secteur qui représente 32% de la consommation globale de l'Union Européenne (le secteur du bâtiment en représente 37%) apparaît comme une cible politique importante à tous les niveaux du territoire (Maïzia et al. 2009).

Dans ce contexte, il semble indispensable de comprendre le rôle de la structure urbaine sur les déplacements, notamment de façon à pouvoir proposer des stratégies pour mitiger ces effets négatifs (Giuliano et Small, 1993). Une méthode d'évaluation des consommations énergétiques liées aux déplacements des personnes a ainsi été développée dans la recherche SAFE (voir fiche SAFE.MOB01 et Marique and Reiter, 2012). Elle a pour but premier de quantifier l'impact énergétique de différents types de déplacements, en l'état actuel. Elle doit ensuite permettre de réaliser des variations paramétrées visant à identifier les paramètres les plus influents et les meilleures stratégies à mettre en œuvre pour diminuer leur impact énergétique. L'objet cette fiche est de présenter les résultats des variations paramétrées réalisées grâce à cette méthode et de synthétiser les principaux résultats. Les stratégies testées abordent la localisation, les distances parcourues, les performances des véhicules, le report modal, le covoiturage et le temps de travail.

Nous avons sélectionné 4 quartiers périurbains wallons (identifiés par les codes QU.1, QU.2, QU.3 et QU.4) comme cas d'études afin de quantifier les gains potentiels relatifs à chaque scénario. Les consommations d'énergie relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école ont été calculées grâce à la méthode d'évaluation développée dans la recherche SAFE (voir fiche SAFE.MOB01).



La localisation des activités

L'investigation des liens entre consommations d'énergie dans le secteur du transport et structure du territoire (fiche SAFE.MOB02) a mis en évidence des différences significatives dans les consommations d'énergie liées au transport des personnes, selon le quartier évalué. Le premier type de scénarios investigué est la localisation des quartiers, au sens large. Nous avons ainsi considéré que les quartiers QU.1, QU.3 et QU.4 conservaient leurs caractéristiques propres (nombre de personnes, de travailleurs et d'écoliers, même répartition du temps de travail) mais pouvaient, de façon théorique, bénéficier de la même localisation que le quartier de type QU.2, à savoir une proximité avec un grand centre-ville et une meilleure desserte en transport en commun. Nous avons ensuite considéré que tous les quartiers gardaient leurs caractéristiques de population et de temps de travail mais étaient localisés à QU.1 qui est le quartier, qui, en l'état actuel, présente les moins bonnes performances énergétiques.

Tableau 1 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) si la localisation des quartiers change et que les quartiers gardent leurs caractéristiques socio-économiques (nombre d'habitants, de travailleurs et d'écoliers, temps de travail)

	QU.1	QU.2	QU.3	QU.4
Si tous les quartiers ont la même localisation que QU.2 (cas le plus favorable)	-31,9%	/	-14,9%	-24,4%
Si tous les quartiers ont la même localisation que QU.1 (cas le plus défavorable)	/	+91,8%	+34,7%	+14,0%

L'impact de la localisation est très important. Si tous les quartiers pouvaient bénéficier de la même localisation que le quartier QU.2, la réduction des consommations relatives au transport pourrait atteindre 31,9%, essentiellement parce que les déplacements en voiture sont moins nombreux et moins longs. L'augmentation des consommations énergétiques pour le quartier QU.2 localisé de façon théorique à QU.1 est très forte. L'impact de la localisation résulte de l'interaction complexe d'un grand nombre de paramètres. Les plus significatifs d'entre eux sont testés dans la suite de ce chapitre, afin de hiérarchiser les éléments les plus influents.

Les distances parcourues

Dans les deux premiers scénarios, nous avons ainsi considéré que les distances domicile-travail et domicile-école sont réduites de 10%, puis de 20%. Dans la troisième simulation, seules les distances domicile-travail sont réduites de 20%. Les distances domicile-école, uniquement, sont réduites de 20% dans la dernière simulation.

Tableau 2 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) si les distances domicile-travail et / ou domicile-école sont réduites

	QU.1	QU.2	QU.3	QU.4
Distances domicile-travail et domicile-école : -10%	-9,7%	-9,8%	-9,7%	-9,6%



Distances domicile-travail et domicile-école : -20%	-19,4%	-19,5%	-19,5%	-19,2%
Distances domicile-travail uniquement : -20%	-17,1%	-16,8%	-17,2%	-15,7%
Distances domicile-école uniquement : -20%	-2,4%	-2,7%	-2,3%	-3,5%

Ces simulations confirment que l'impact des distances parcourues sur les consommations énergétiques de transport est élevé. S'il est impossible de changer la localisation des quartiers existants, ce facteur est primordial lors du choix d'implantation d'un nouveau quartier et plaide pour une concentration des activités et une plus grande mixité des fonctions, qui permettent toutes deux de réduire les distances à parcourir. On remarque par ailleurs que les quatre quartiers-types semblent réagir de façon identique aux simulations testées.

Les performances des véhicules

Nous avons considéré que les performances des véhicules (voiture diesel et essence, bus publics) sont d'abord améliorées de 10%, puis de 20%. Afin d'isoler l'impact des véhicules publics, dans la troisième simulation, seules les performances de ces véhicules sont améliorées de 20%.

Tableau 3 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) si les performances des véhicules sont améliorées

	QU.1	QU.2	QU.3	QU.4
Performances véhicules privés et publics : +10%	-9,2%	-9,2%	-8,7%	-9,5%
Performances véhicules privés et publics : +10%	-18,5%	-18,5%	-17,3%	-18,9%
Performances véhicules publics uniquement : +20%	-1,2%	-1,9%	-1,2%	-1,5%

Ce type de stratégie permet des réductions significatives des consommations énergétiques relatives au transport. Ce potentiel est d'autant plus important que l'amélioration des performances des véhicules est une approche crédible et réaliste. Desjardins (2009) mentionne à cet effet « qu'entre 1970 et 2005, si le nombre de véhicules-kilomètres parcourus a été multiplié par 2,5 en France, la consommation énergétique a été seulement multipliée par 2 grâce à l'amélioration des technologies. On peut supposer que les constructeurs vont fortement accélérer la mise au point de véhicules plus sobres dans un contexte de hausse durable des coûts de l'énergie. Les ménages peuvent ainsi répondre à une hausse durable du coût du carburant, non pas par une diminution de leur kilométrage automobile, mais par le choix de véhicules plus sobres ». L'augmentation des distances parcourues, même si elle ne se chiffre pas en termes de consommation d'énergie supplémentaire grâce à de meilleures performances du stock de





véhicules, amène toutefois d'autres problématiques : congestion, tendance favorable à l'étalement urbain, etc.

On remarquera enfin qu'une amélioration de 20% des performances des véhicules publics n'amène qu'une réduction assez faible des consommations d'énergie pour les déplacements domicile-travail et domicile-école, en raison d'une faible part modale du bus dans les quartiers testés. Pour obtenir des résultats plus importants, il conviendrait d'améliorer, en parallèle, la part modale des transports en commun.

Le report modal vers les transports en commun et les modes doux

Nous avons dans un premier temps abordé la question du report modal, de la voiture individuelle sur les transports en communs (bus) en considérant d'abord que 10% des travailleurs pourraient modifier leurs comportements de mobilité et utiliser dorénavant le bus plutôt que la voiture pour se rendre au travail. Dans la seconde simulation, ce pourcentage de travailleurs est fixé à 20%. Dans les deux simulations suivantes, nous avons considéré que 10%, puis 20%, des travailleurs et des écoliers utilisent le bus plutôt que la voiture pour se rendre respectivement au travail et à l'école. Pour tenir compte d'une plus grande utilisation du bus, le taux de remplissage utilisé pour calculer le facteur de consommation du bus a été adapté.

Tableau 4 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) pour quatre hypothèses relatives au report modal (voiture > bus)

	QU.1	QU.2	QU.3	QU.4
Report modal (uniquement travail) : 10%	-3,4%	-2,8%	-3,0%	-3,9%
Report modal (uniquement travail) : 20%	-5,9%	-5,6%	-5,3%	-5,2%
Report modal (travail et école) : 10%	-3,9%	-3,1%	-3,6%	-4,7%
Report modal (travail et école) : 20%	-6,8%	-6,2%	-6,2%	-7,6%

Le report modal, de la voiture individuelle sur le bus, semble avoir un impact moins important que d'autres types de stratégies testées dans le cadre de ces variations paramétrées, notamment la diminution des distances parcourues ou l'amélioration des performances des véhicules. Ce constat s'explique par le lien entre distances parcourues et facteur de consommation des véhicules (voir fiche SAFE.MOB01). En effet, le train bénéficie d'un facteur de consommation plus faible que celui de la voiture, mais les trajets en train sont nettement plus longs (en kilomètres) que ceux réalisés en voiture. En ce qui concerne le bus, en raison d'un faible taux de remplissage en milieu périurbain, la différence entre les facteurs de consommation du bus et de la voiture reste peu importante.



Afin d'approfondir cette approche, nous avons ensuite étudié le report modal de la voiture vers les modes doux. Trois hypothèses ont été testées : la première simulation considère que tous les trajets de moins de 5 kilomètres, à destination du travail ou de l'école, sont maintenant réalisés à pied ou à vélo (facteur de consommation = 0 car ces modes de transport ne consomment pas d'énergie). Dans la seconde simulation, les déplacements à destination de l'école et du travail et dont la distance est inférieure à 10 kilomètres sont supposés être réalisés à pied ou à vélo. Enfin, dans la troisième simulation, les trajets de moins de 5km, à destination de l'école et du travail sont réalisés à pied ou à vélo alors que les trajets domicile-travail dont la distance est comprise entre 5 et 20 kilomètres sont réalisés en scooter.

Tableau 5 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) pour trois hypothèses relatives au report modal (voiture > modes doux et/ou scooter)

	QU.1	QU.2	QU.3	QU.4
Report modal des trajets de moins de 5 km sur les modes doux	-5,5%	-7,6%	-8,3%	-7,6%
Report modal des trajets de moins de 10 km sur les modes doux	-9,8%	-14,8%	-24,6%	-11,6%
Report modal des trajets de moins de 5 km sur les modes doux et des trajets domicile-travail de 5 à 20 km sur le scooter	-8,6%	-10,5%	-7,5%	-10,7%

Pour les simulations relatives à un report modal vers les modes doux, les réductions sont potentiellement les plus importantes dans les quartiers situés à proximité d'un centre ville (QU.2 et QU.3) car dans ces quartiers, un grand nombre de déplacements font moins de 10 kilomètres alors que dans les quartiers situés plus loin d'un centre-ville (QU.1 et QU.4), les déplacements de courte distance sont nettement moins nombreux.

Le potentiel de réduction des consommations par un report modal sur les modes doux est par ailleurs plus important pour les déplacements scolaires que pour les déplacements domicile-travail car les distances parcourues pour aller à l'école sont moins élevées que celles parcourues pour se rendre au travail. Les déplacements scolaires de moins de 10 kilomètres représentent ainsi respectivement 60,0%, 80,7%, 92,7% et 48,1% de l'ensemble des déplacements à QU.1, QU.2, QU.3 et QU.4. Le tableau suivant synthétise les réductions potentielles d'énergie présentées séparément pour les déplacements domicile-travail et domicile-école. Les déplacements domicile-travail étant toutefois plus nombreux que les déplacements scolaires, à l'échelle des quartiers, les réductions globales (travail + école) sont plus réduites.



Tableau 6: Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail puis école) pour un report modal des trajets de moins de 10 km sur les modes doux. ! Les résultats présentés ici sont ramenés aux déplacements liés au travail sur la première ligne et aux déplacements scolaires sur la seconde, et pas à la somme des déplacements liés au travail et à l'école comme dans le reste de cette fiche !

	QU.1	QU.2	QU.3	QU.4
Report modal des trajets (domicile-travail) de moins de 10 km sur les modes doux / impact sur les déplacements de travail	-7,2%	-11,4%	-19,7%	-11,4%
Report modal des trajets (domicile – école) de moins de 10 km sur les modes doux / impact sur les déplacements scolaires	-28,9%	-36,3%	-62,5%	-12,9%

Les distances parcourues jouent un rôle important dans le cadre de la réduction des consommations d'énergie relatives aux déplacements des personnes, puisqu'elles autorisent, ou pas, le recours aux modes doux. Rappelons enfin que ces simulations et les gains engendrés restent théoriques et visent uniquement à mettre en évidence l'impact potentiel de différentes stratégies. Le report modal, en particulier sur les modes doux (marche à pied et vélo), est en effet intimement lié à d'autres éléments comme la déclivité (bien que peu contraignante en Région wallonne), les conditions climatiques ou les chaînes de déplacements. L'objet est donc bien ici de quantifier un potentiel maximum et surtout de comparer l'efficacité de différentes stratégies en vue d'orienter les décisions et actions à mener en matière de réduction des consommations énergétiques des quartiers périurbains wallons.

Le covoiturage

Le covoiturage offre également un potentiel de réduction des consommations d'énergies relatives aux déplacements domicile-travail et domicile-école. En effet, en augmentant le taux de remplissage, le covoiturage permet de réduire le facteur de consommation des véhicules concernés.

Tableau 7: Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) pour deux hypothèses relatives au covoiturage

	QU.1	QU.2	QU.3	QU.4
10% de covoiturage (2 personnes par voiture)	-3,6%	-3,2%	-3,5%	-3,4%
20% de covoiturage (2 personnes par voiture)	-7,2%	-7,0%	-7,0%	-6,8%



Le télé-travail

Nous avons considéré successivement que 5%, puis 10%, des journées de travail pourraient se faire à domicile. Les résultats montrent le potentiel intéressant de ces stratégies dans une optique de réduction des consommations relatives aux déplacements des personnes.

Tableau 8 : Réduction des consommations d'énergie pour le transport (travail et école) pour deux hypothèses relatives au télétravail

	QU.1	QU.2	QU.3	QU.4
5% de télétravail	-4,1%	-3,8%	-4,3%	-4,9%
10% de télétravail	-9,5%	-8,1%	-8,9%	-9,1%

Synthèse

Le tableau suivant synthétise l'ensemble des résultats des variations paramétrées présentées dans cette fiche. Si ces simulations restent pour certaines théoriques (il n'est par exemple possible de modifier la localisation d'un quartier existant), elles permettent d'identifier, par comparaison, les stratégies les plus efficaces, pour diminuer les consommations d'énergie relatives au transport des personnes (déplacements domicile-travail et déplacements scolaires) et sont utiles dans le cadre du choix de la localisation de nouveaux quartiers.

Tableau 9 : Synthèse des résultats des variations paramétrées « transport » réalisées

	QU.1	QU.2	QU.3	QU.4
Si même localisation que QU.2	-31,9%	/	-14,9%	- 24,4%
Si même localisation que QU.1	/	+91,8%	+34,7%	+14,0%
Distances domicile-travail et domicile-école : -10%	-9,7%	-9,8%	-9,7%	-9,6%
Distances domicile-travail et domicile-école : -20%	-19,4%	-19,5%	-19,5%	-19,2%
Distances domicile-travail uniquement : -20%	-17,1%	-16,8%	-17,2%	-15,7%
Distances domicile-école uniquement : -20%	-2,4%	-2,7%	-2,3%	-3,5%
Performances véhicules privés et publics : +10%	-9,2%	-9,2%	-8,7%	-9,5%



Performances véhicules privés et publics : +20%	-18,5%	-18,5%	-17,3%	-18,9%
Performances véhicules publics uniquement : +20%	-1,2%	-1,9%	-1,2%	-1,5%
Report modal (uniquement travail) : 10%	-3,4%	-2,8%	-3,0%	-3,9%
Report modal (uniquement travail) : 20%	-5,9%	-5,6%	-5,3%	-5,2%
Report modal (travail et école) : 10%	-3,9%	-3,1%	-3,6%	-4,7%
Report modal (travail et école) : 20%	-6,8%	-6,2%	-6,2%	-7,6%
Report modal des trajets de > 5 km sur les modes doux	-5,5%	-7,6%	-8,3%	-7,6%
Report modal des trajets > 10 km sur les modes doux	-9,8%	-14,8%	-24,6%	-11,6%
Report modal des trajets > 5 km sur les modes doux et des trajets domicile-travail de 5 à 20 km sur le scooter	-8,6%	-10,5%	-7,5%	-10,7%
10% des covoiturage (2 personnes par voiture)	-3,6%	-3,2%	-3,5%	-3,4%
20% des covoiturage (2 personnes par voiture)	-7,2%	-7,0%	-7,0%	-6,8%
5% de télétravail	-4,1%	-3,8%	-4,3%	-4,9%
10% de télétravail	-9,5%	-8,1%	-8,9%	-9,1%

Ces résultats montrent que c'est la localisation au sens large qui a l'impact le plus important sur les consommations d'énergie de transport. La réduction des distances parcourues, qui est intimement liée à la localisation, permet ensuite de réduire de façon significative ces consommations, en diminuant le nombre de kilomètres parcourus en véhicules motorisés mais aussi en encourageant l'usage des modes doux pour les courtes distances.

En raison de la rigidité du stock bâti (le taux de renouvellement du bâti est très faible), il est toutefois difficile d'influer, à court terme, sur les distances entre lieu de résidence et lieu de travail. Dans cette optique, favoriser le recours à des véhicules plus performants, encourager le télétravail ou le report modal sur des modes doux, pour les courtes distances, sont des stratégies efficaces en termes de transport. Il s'agit également, à plus long terme, de (1) favoriser la densification de nœuds mixtes bien desservis en transport en commun pour tenter de limiter la dépendance à la voiture qui caractérise les quartiers périurbains et (2)



favoriser la mixité fonctionnelle à l'échelle des quartiers de vie pour réduire les distances à parcourir et encourager le recours aux modes de transport non motorisés (marche à pied vélo).



Références

- Desjardins X. [2009]. Peut-on habiter au vert quand le pétrole devient cher ? Revue POUR, n°199, pp. 116-122.
- Giuliano G., Small K.A. [1993]. Is the journey to work explained by urban structure ? Urban studies 9, 1485-1500.
- Maïzia M., Sèze C. Berge S., Teller J., Reiter S., Ménard R. [2009]. Energy requirements of characteristic urban blocks. Proceedings of the CISBAT 2009 International Scientific Conference on Renewables in a Changing Climate, From Nano to Urban Scale, Lausanne, p 439-444.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2012. A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. Environmental Impact Assessment Review 33, 1-6.



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier les deux fiches suivantes qui sont consacrées au transport et à la mobilité en milieu périurbain :

- SAFE.MOB01 : Comment sont calculées les consommations « transport » dans l'outil SAFE ?
- SAFE.MOB02 : Consommations d'énergie dans le transport et structure du territoire en Wallonie

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lemma.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be





Références et publications scientifiques de l'équipe en lien avec cette fiche

- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2012b. A method to evaluate the energy consumption of suburban neighborhoods. HVAC&R Research Journal 18 (1-2): P.88-99.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2012. A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. Environmental Impact Assessment Review 33, 1-6.
- Marique, A.-F, Dujardin, S, Teller, J, & Reiter, S. 2011. Urban Sprawl and Travel Energy Consumption: the Case of the Walloon Region of Belgium. Irish Transport Research Network Conference, Energy & Transport, Programme and Proceedings, Cork, Ireland.
- Wallemacq, V, Marique, A.-F, & Reiter, S. 2011. Development of an urban typology to assess residential environmental performance at the city scale. In Bodard M., Evrard A. (Ed.), Proceedings of International Conference PLEA 2011 : Architecture & Sustainable Development (pp. 119-125). Presses Universitaires de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgium.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2010. A method to assess transport energy consumptions in suburban areas. Proceedings of the PLUREL International Conference: Managing the Urban Rural Interface, Copenhagen, Denmark.
- Marique, A.-F, & Reiter, S. 2010. A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighbourhood scale. Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in buildings, Syracuse, USA.



Auteurs de la fiche

LEMA

Université de Liège

A.F. Marique et Prof. S. Reiter

Chemin des Chevreuils, 1 B52/3

4000 Liège

Afmarique@ulg.ac.be

+32 4 366 93 67

<http://www.lemma.ulg.ac.be/>



Bâtiment



Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public



Général



SAFE.BAT01

Comment choisir son logement



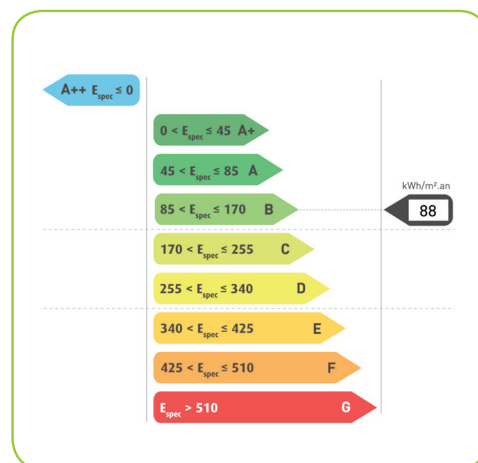
Les points principaux

- La fiche reprend des critères dont il faut tenir compte pour choisir un logement dans un esprit durable : implantation, contexte, bâtiment performant et flexible, etc.
- Une réflexion est développée sur l'implantation du terrain incluant son contexte, sa localisation, ainsi que sur l'habitation, ses performances et ses utilisateurs
- Deux certificats PEB sont présentés et analysés afin de déceler et d'interpréter certains points clefs : l'un provient d'une ancienne habitation unifamiliale et le second d'un appartement construit récemment



Résumé

Le choix d'un logement est une étape cruciale pour laquelle une réflexion globale doit être portée sur le développement d'un projet au caractère le plus durable possible. Cela débute par le choix d'un terrain à bâtir ou d'un terrain déjà construit ce qui orientera soit vers un processus de construction soit vers un processus de rénovation. Le lieu d'implantation va influencer énormément le mode de vie des habitants et leur impact sur l'environnement. Pour choisir de manière durable, il faut envisager l'habitation dans sa globalité tant d'un point de vue énergétique du bâtiment que de celui de l'environnement existant. La certification sur les performances énergétiques des bâtiments (PEB) permet d'établir des comparaisons entre les différents bâtiments. Il donne un avis et permet de savoir les points faibles du bâtiment.



SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Avril 2012



Comment choisir son logement

Le choix d'un logement demande une réflexion globale afin de développer un projet au caractère le plus durable possible. Cela débute par le choix soit d'un terrain à bâtir soit d'un terrain déjà construit ce qui oriente vers un processus de construction ou vers un processus de rénovation. Ce lieu d'implantation va influencer énormément le mode de vie des habitants et leur impact sur l'environnement. Pour choisir de manière durable, il faut également envisager l'habitation dans sa globalité tant d'un point de vue énergétique que de celui de l'environnement existant. Le choix du lieu d'habitation inclut donc une réflexion sur les performances du bâtiment choisi ou à construire et sur sa localisation afin de limiter l'étalement urbain et de favoriser une certaine densité de l'habitat. A l'heure actuelle, la certification sur les performances énergétiques des bâtiments (PEB) permet d'établir des comparaisons entre les différents bâtiments et permet d'assurer la conception de bâtiments dans le but de réduire la consommation d'énergie primaire de ces bâtiments.



L'implantation

L'ensemble des caractéristiques d'un terrain, de son environnement naturel et construit, influence un bâtiment et devrait influencer sa conception. Cela n'a pas toujours été le cas et c'est pour cela qu'une rénovation est l'occasion prendre en compte les facteurs du milieu afin d'exploiter au mieux le potentiel du bâtiment et de son implantation/orientation (Figure 1). Une maison n'est pas un objet posé sur une surface neutre, elle vient s'inscrire dans un lieu qui lui préexiste. L'essentiel n'est peut-être pas tant de trouver le terrain idéal que de valoriser au maximum les caractéristiques du terrain choisi (Massart, 2010).

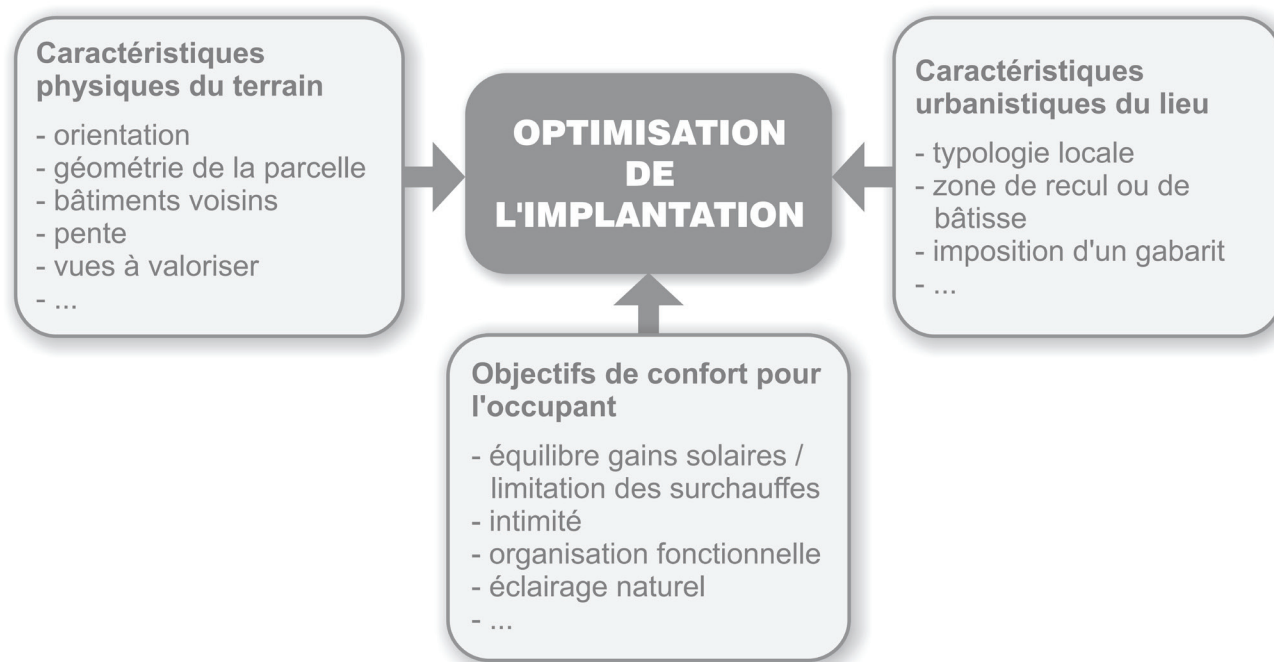


Figure 1 : Optimisation de l'implantation en fonction des caractéristiques du milieu et des objectifs de confort pour l'occupant (Massart, 2010)

Le contexte

Il est essentiel de développer une réflexion concernant le contexte dans lequel le bâtiment rénové ou à construire devra s'intégrer. Cela se traduit par l'importance d'une mixité sociale, d'une diversité des fonctions et de la biodiversité. Cette réflexion sur le contexte doit démarrer du bâtiment existant dans son contexte afin d'analyser les avantages et les inconvénients de ces deux-ci. Pour améliorer la situation il faut tenir compte :

- des relations établies ou à établir avec le quartier (favoriser une mixité sociale)
- du confort des espaces intérieurs
- du confort des espaces extérieurs
- des consommations d'énergie (chauffage, électricité, eau potable,...)

Les concepteurs ont et auront un grand défi à relever : offrir à tout habitant, un logement neuf ou rénové, de qualité, confortable, lumineux, sain, proche des réseaux urbains (transports et facilités) et de services, entouré d'espaces verts et de détente,...

La mobilité

Cette réflexion sur le contexte est liée à celle sur la mobilité car l'utilisation de plus en plus intense de la voiture a eu de nombreux impacts sur l'espace public, les relations sociales et sur l'environnement (qualité de l'air, réchauffement climatique, épuisement des ressources,...). Aujourd'hui, il y a lieu de réduire l'utilisation de la voiture.

Le choix d'un lieu du logement va influencer considérablement la mobilité des occupants (Massart, 2010). Habiter un bâtiment performant, mais faire des trajets conséquents tous les jours en voitures n'est pas une démarche durable. Les caractéristiques du lieu idéal qui permette de limiter les dépenses énergétiques liées au transport sont :

- la disponibilité de services de proximité (épicerie, école primaire, docteur...) ;
- l'accessibilité aux transports en commun et/ou à des parkings judicieusement placés pour laisser sa voiture et utiliser les transports en commun ;
- la proximité et l'accessibilité du lieu de travail (notons que, statistiquement, on change plus souvent de travail qu'on ne construit une maison...) ;
- la possibilité de mobilité douce (pistes cyclables, trottoirs...) permise par des activités urbaines proches les unes des autres.

Il faut donc favoriser les choix de pôles compacts comme l'illustre la figure ci-dessous afin de réduire la dépendance à la voiture.

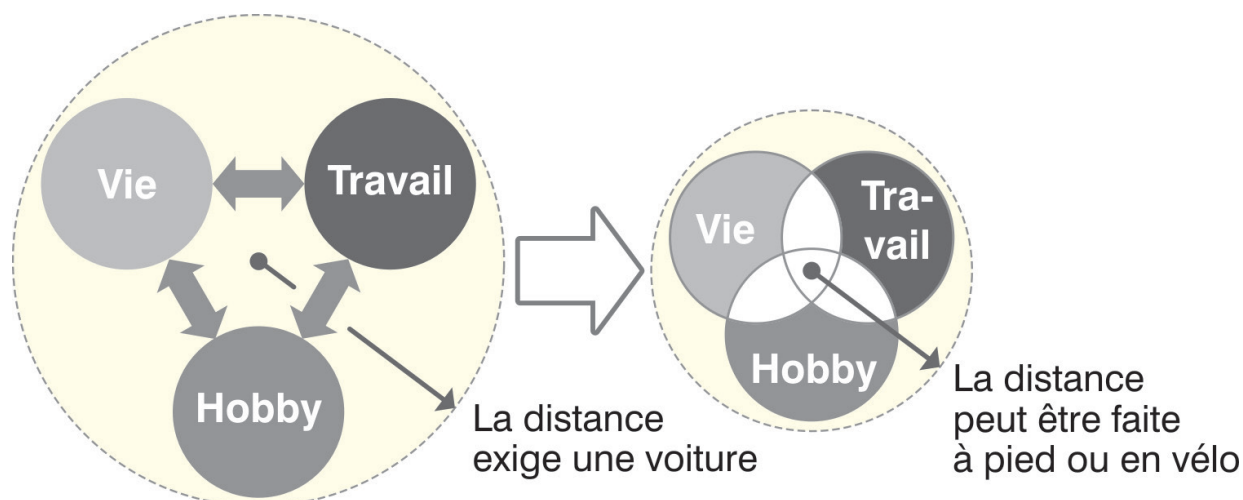


Figure 2 : Dans les pôles compacts, les déplacements sont réduits et la circulation peut se faire à pied ou à vélo tandis que l'éclatement des zones d'activités entraîne une dépendance à la voiture.



Les pôles mixtes et compacts réduisent les besoins de déplacements et créent des quartiers animés et durables. Il faut donc encourager la mobilité à pied ou à vélo par une proximité aux infrastructures et aux réseaux existants et par la mise en place d'un service de stationnement voiture/vélo... Il faut développer des pistes cyclables confortables et sécurisées et des « garages à vélos » abrités, sécurisés et éclairés. (Trachte 2009)

Les déplacements piétons sont encouragés lorsque la distance à parcourir est inférieure à 600 mètres (durée de +/- 10 minutes) au-delà, elle devient dissuasive pour le piéton « moyen ». En Belgique des systèmes alternatifs visant à motiver l'emploi de transport alternatif se développent : arrivée du RER, concept de vélos libres et publics répartis à travers des stations équipées de bornes (CycloCity, Pro Velo), service de location de véhicules pour une courte période à de multiples endroits souvent près des gares,... (Trachte 2009)

Pour aller plus loin et concrétiser cette approche de la localisation

Les fiches « Comment réduire vos consommations d'énergie relatives au transport ? » (SAFE.MOB03) et « Consommations d'énergie pour le transport et structure du territoire en Wallonie » (SAFE.MOB02) permettent de mieux comprendre ce phénomène du transport.

De plus, un outil interactif, accessible sur www.safe-energie.be a été développé dans le cadre du projet de recherches SAFE. Il permet de comparer l'énergie utilisée pour le déplacement des personnes (domicile-travail et domicile-école) et celle relative au chauffage et à la ventilation du logement. Cet outil, en particulier l'évaluation détaillée, permet de tester l'impact de différentes localisations résidentielles.



L'habitation

Les caractéristiques du bâtiment sont multiples et le choix final dépendra généralement d'un compromis entre l'esthétique du bâtiment, le niveau de performance, la flexibilité des espaces intérieurs, etc.

La typologie

La taille d'une maison, son orientation, les performances de son enveloppe, son type, etc. ont une influence énorme sur ses consommations. La figure ci-dessous compare deux types de logements à travers une maison 4 façades et une autre 2 façades de mêmes dimensions, à différents niveaux de performances de l'enveloppe.

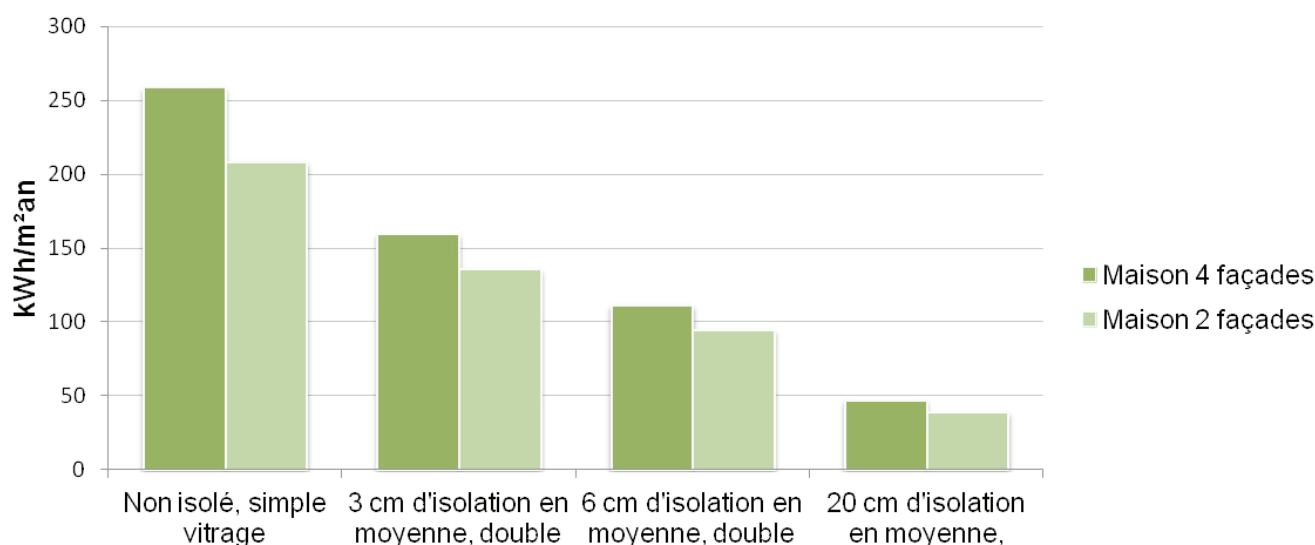


Figure 3 : Demande de chauffage en fonction du type d'habitation

Si l'impact de la performance du bâtiment est non négligeable, l'impact lié au type de bâtiment l'est également. Lors du choix de son logement, il faut donc être conscient du type de logement choisi. Notons qu'un bâtiment très performant, s'il est isolé de tout centre, ne peut pas être considéré comme durable au sens large du terme. S'il n'est pas évident d'évaluer les bâtiments, les certificats PEB offre cette possibilité car ils permettent de les comparer facilement entre eux.

La flexibilité fonctionnelle et la volumétrie des espaces

Tout bâtiment sera amené au cours de sa vie à subir des évolutions dans son utilisation, voire des changements radicaux d'affectation. Car les manières de vivre, d'habiter évoluent au même titre que les techniques. La capacité qu'a un bâtiment à être adapté aux différentes évolutions, est un gage de sa durabilité. Il s'agit d'une démarche durable qui a un moindre coût environnemental (déchets, matières premières, énergies).

La capacité d'extension ou de compression par division d'un bâtiment définira son élasticité. Si une extension devient nécessaire, qu'elle soit horizontale ou verticale, cette démarche demande une réflexion particulière sur le plan masse, la volumétrie et l'aménagement intérieur, mais aussi sur le système constructif et les façades. Pourquoi ne pas construire ces extensions dans un niveau plus performant comme celui du passif ?! (Trachte 2009 et de Meester, 2009)

Afin que le bâtiment puisse s'adapter aux évolutions ou aux innovations tant en matière de performances techniques (chauffage, ventilation, éclairage) que de mode de vie (logements ou résidentiel), il faut favoriser une certaine neutralité du bâtiment (structure, enveloppe, aménagement intérieur) par rapport aux équipements techniques. La neutralité du bâtiment garantira la capacité



à accepter un changement important d'usage (ex : promouvoir des accès pour les personnes à mobilité réduite permet d'assurer une adaptation du bâtiment aux besoins évolutifs des occupants (accident, vieillissement)). Cela implique l'usage de cloisons légères, de technique de vissage ou emboîtement, plutôt que les encollages, et l'emploi de matériaux recyclables. Le mode de construction en préfabrication permet d'améliorer et d'accélérer la mise en œuvre sur chantier. (Trachte 2009 et de Meester, 2009)

Le choix et l'utilisateur

A long terme, le choix d'un bâtiment performant et d'une implantation optimale ne suffisent pas car une démarche globale implique également les utilisateurs du bâtiment afin qu'ils adoptent un comportement responsable.

Cela sous-entend une bonne gestion du thermostat car le comportement est en partie dicté par l'âge des occupants qui semble avoir un énorme impact sur les charges de chauffage, et en particulier sur la température de confort (Mettetal L. 2009). Cet équilibre entre confort et modération varie avec l'âge et la composition familiale. En effet, la consommation de chauffage augmente en fonction de l'âge du chef de famille (Mettetal L. 2009). La fiche « L'impact du comportement des occupants » vous donnera plus de détails concernant l'influence de l'utilisateur.

Cette implication des utilisateurs inclut également une bonne gestion de l'éclairage naturel et artificiel, mais également de l'eau au moyen d'appareils économeur comme par exemple des vannes mélangeuse, des chasses d'eau avec 2 contrôles : 3 et 6 litres, favoriser les douches plutôt que les bains, etc.. La bonne gestion des déchets sera aussi de la responsabilité de l'utilisateur (tri, composte, etc.).

Pour aller plus loin et concrétiser cette approche de l'habitation

Les fiches « La rénovation : quelles démarches suivre? » (SAFE.MOB02), « La rénovation par l'isolation » (SAFE.MOB05), « L'amélioration des ouvertures ou la valorisation des sources lumineuses » (SAFE.MOB04) permettent de réaliser l'importance d'un bâtiment performant et des possibilités de rénovation afin d'améliorer son bâtiment existant.

De plus, l'outil interactif, accessible sur www.safe-energie.be a été développé dans le cadre du projet de recherches SAFE. Il permet de comparer l'énergie utilisée pour le déplacement des personnes et celle relative au chauffage et à la ventilation du logement. Cet outil permet de tester l'impact de différents types de logements à différentes tailles et à différents niveaux de performances.



Comment analyser le certificat PEB

La Directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments

La Directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (2002/91/CE) a été adoptée par le parlement européen et le Conseil de l'Union européenne le 16 décembre 2002. La transposition de cette Directive dans la réglementation wallonne a été



amorcée par le Décret-cadre visant à promouvoir la performance énergétique des bâtiments, approuvé par le Gouvernement wallon, le 19 avril 2007. Le but de la performance énergétique des bâtiments (PEB), telle que préconisée par la Directive européenne et la nouvelle réglementation wallonne, est de réduire la consommation d'énergie primaire des bâtiments. Cette énergie primaire est l'énergie directement prélevée à la planète (pétrole, gaz, uranium...), qui après transformation, permet d'obtenir une énergie utilisable dans le bâtiment (mazout, gaz, électricité...). Cet objectif ne doit pas se faire au détriment du confort des occupants c'est pourquoi la garantie du confort intérieur des bâtiments fait donc partie intégrante de la PEB (Guillemeau J.-M. et al. 2010).

Comme isoler n'est aujourd'hui plus suffisant pour obtenir un bâtiment efficace sur le plan énergétique, il est nécessaire de prendre en compte les différents postes de la consommation d'énergie : le chauffage des locaux, l'eau chaude sanitaire, le recours à des auxiliaires et à une climatisation éventuelle... L'ensemble des éléments pris en compte est schématisé dans la figure ci-dessous.

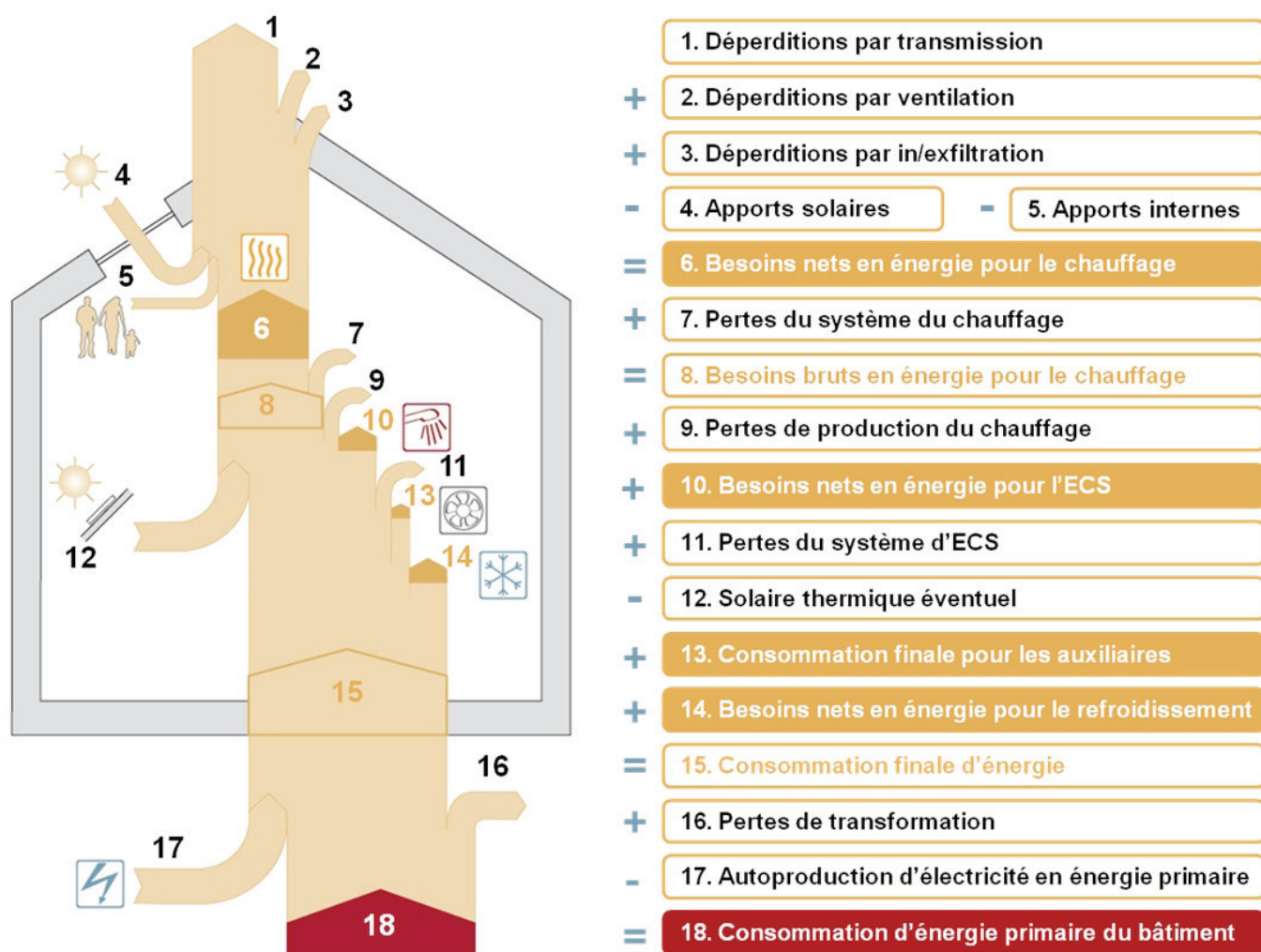


Figure 4 : Bilan énergétique d'un bâtiment intervenant dans le calcul de la PEB où l'ensemble des postes qui influencent la consommation d'énergie primaire est pris en compte car l'objectif de la PEB est de réduire cette consommation d'énergie primaire du bâtiment (Guillemeau J.-M. et al. 2010)



La certification sur les performances énergétiques des bâtiments (PEB)

Les certificats PEB devenus obligatoires dans la cadre de la vente ou de la location d'un logement permettent d'avoir une bonne idée des performances de celui-ci et des éventuels points à améliorer. C'est un critère de choix dans le processus décisionnel qui permet d'en retirer le potentiel du bâtiment et de pouvoir comparer différents bâtiments entre eux. Car les données techniques du bâtiment sont encodées telles qu'il est réalisé avec les caractéristiques de l'enveloppe et des systèmes. Les valeurs attribuées à certains paramètres doivent faire l'objet d'un justificatif à joindre à la déclaration s'il ne s'agit pas de valeurs par défaut. C'est le logiciel PEB qui fournit le niveau de performance obtenu en définitive.

Les certificats PEB des bâtiments sont composés de quelques pages (généralement 6) dont voici un aperçu :

La première page donne le niveau de performance du bâtiment via principalement deux valeurs

- La consommation d'énergie totale du bâtiment, exprimée en énergie primaire (kWh/an), qui permet de comparer les consommations théoriques des bâtiments entre eux car elle prend en compte la consommation pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, les auxiliaires (circulateur, ventilateur, ...) et, éventuellement, le refroidissement. La production d'énergie issue de panneaux solaires thermiques et photovoltaïques ou d'une installation de cogénération est valorisée. Mais cette consommation ne prend pas en compte les consommations électriques pour l'équipement électroménager, ni l'éclairage. Cette consommation théorique est établie sur base d'une occupation, d'un climat intérieur et de conditions climatiques standardisés.
- La Consommation spécifique d'énergie primaire (Espec en kWh/m².an), qui représente la consommation totale d'énergie primaire du bâtiment divisée par la surface de plancher chauffée ce qui permet de comparer tous les bâtiments de tout type entre eux. Cette consommation spécifique du bâtiment est indiquée par un curseur placé en face de la classe énergétique lui correspondant : la classe A++ étant la plus performante et la classe G la moins performante.

Des indicateurs spécifiques permettent de cibler par une appréciation en « Smileys » les performances de différents pôles composant la note globale et concernant :

- l'enveloppe du bâtiment,
- le système de chauffage,
- le système de production d'eau chaude sanitaire,
- la ventilation et
- le système de production d'énergie renouvelable.

La deuxième page apporte des valeurs complémentaires et des précisions sur le bâtiment et ses installations via :

- L'impact du bâtiment sur l'environnement à travers ses émissions de CO₂
- Une description du bâtiment et des installations qui permettra entre autres de connaître :



- le volume chauffé et donc (à) protégé (er),
- la surface de plancher chauffé (chaque niveau chauffé du volume protégé compte),
- les besoins de chauffage du bâtiment ou la performance de l'enveloppe du bâtiment (en kWh/m²an) cette valeur est indépendante du système de chauffage,
- les installations de chauffage des locaux et de chauffage de l'eau chaude sanitaire sont décrites en fonction du générateur, du combustible associé et de sa performance (en %). Les deux exemples repris ci-dessous expliquent cela plus en détail.

Les pages 3, 4 et 5 proposent des améliorations de la performance énergétique du bâtiment via des conseils généraux parfois difficilement applicables pour des raisons techniques, économiques, esthétiques ou autres. Ces conseils sont regroupés par pôles :

- Propositions d'amélioration portant sur l'enveloppe
- Conseils portant sur le(s) système(s) de chauffage central/local
- Conseils portant sur le(s) système(s) d'eau chaude sanitaire
- Conseils portant sur le système de ventilation
- Autres recommandations du certificateur


Notons qu'un certificateur n'est pas censé donner des conseils contrairement à l'auditeur qui, lui, donne des conseils très ciblés et personnalisés.

La dernière et 6^{ème} page reprend un glossaire définissant certains termes utilisés dans le certificat.

Afin d'illustrer concrètement cela, deux exemples de certificats PEB issus de deux types de logement très différents dont les performances différent également sont présentés et analysés : l'un est très performant (de classe B) tandis que l'autre l'est beaucoup moins (de classe G). Les deux exemples reprennent les deux premières pages du certificat.

Analyse d'un certificat PEB d'une Maison unifamiliale des années avant 1970

Ce certificat d'une maison unifamiliale 4 façades est représentatif d'une très grande partie du stock de logements wallons. Ce bâtiment n'a quasi pas été rénové depuis sa construction.



N° :
Etabli le :
Valable jusqu'au :
Certificat agréé N° :

CERTIFICAT de Performance Energétique (PEB)
Bâtiment résidentiel existant

Données administratives

Rue : N° : Boîte :
CP : Localité : **Maison unifamiliale**
Type de bâtiment : **Maison unifamiliale**
Permis de bâtir/d'urbanisme/unique obtenu le :
Numéro de référence du permis :
Construction : **1971 ou inconnue** Version du protocole : **19/03/2010**
Prix du certificat (TVAC) : **350.00€** Version du logiciel : **1.0.20**

Ce certificat est un document officiel qui vous informe sur la performance énergétique du bâtiment certifié. Il vous indique les mesures générales d'amélioration qui peuvent être apportées. Le certificat est établi par un certificateur agréé conformément à l'Arrêté du Gouvernement wallon relatif à la certification des bâtiments résidentiels existants publié au Moniteur belge le 22/12/2009, sur base des informations recueillies lors de la visite du bâtiment. Pour de plus amples informations, visitez le site <http://energie.wallonie.be> ou contactez les Guichets de l'énergie.

Photo

Indicateurs spécifiques

Enveloppe du bâtiment

Système de chauffage

Système de production d'eau chaude sanitaire

Ventilation

Système de production d'énergie renouvelable

Consommation énergétique calculée du bâtiment

Consommation totale d'énergie primaire : **121888 kWh/an**
Consommation spécifique d'énergie primaire - $E_{p,sp}$ (kWh/m².an)

Classe	Consommation spécifique d'énergie primaire - $E_{p,sp}$ (kWh/m².an)
A++	$E_{p,sp} < 45$
A+	$45 < E_{p,sp} \leq 65$
A	$65 < E_{p,sp} \leq 85$
B	$85 < E_{p,sp} \leq 110$
C	$110 < E_{p,sp} \leq 155$
D	$155 < E_{p,sp} \leq 215$
E	$215 < E_{p,sp} \leq 285$
F	$285 < E_{p,sp} \leq 385$
G	$385 < E_{p,sp} \leq 510$
H	$E_{p,sp} > 510$

Cette consommation est établie sur base d'une occupation d'un climat intérieur et de conditions climatiques standardisées, de telle sorte que le résultat peut différer de votre consommation réelle. Cette approche standardisée permet de comparer les bâtiments entre eux, de manière objective. Elle prend en compte la consommation pour le chauffage, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire, le refroidissement, le refroidissement. Le résultat est exprimé en énergie primaire.

Certificat agréé N° :

Nom :
Prénom :
Rue : N° : Boîte :
CP : Localité :
Pays :

Je déclare que toutes les données reprises sur ce certificat sont conformes à la réalité.

Date :
Signature :

Cette consommation exprimée en énergie primaire (kWh/an) exprime une consommation théorique. Celle-ci prend en compte le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, les auxiliaires (circulateur, ventilateur, ...), un éventuel refroidissement et une éventuelle production d'énergie renouvelable (panneaux solaires, cogénération)

Cette consommation spécifique d'énergie primaire (Espece), liée à la consommation ci-dessus et exprimée en kWh/m².an, permet de comparer tous les bâtiments selon une performance globale par rapport à la surface de plancher chauffée symbolisée par une lettre. Ce vieux bâtiment pourtant fort « banal » en Région wallonne a obtenu le plus mauvais résultat, la lettre « G ».

Information relative au certificateur

Information relative au bâtiment. Il s'agit ici d'un cas assez représentatif du stock de logements en Région wallonne puisque 45.2% des logements wallons datent d'avant 1945 et 68.9% d'avant 1970.

Les indicateurs spécifiques permettent de cibler les niveaux de performances des différents pôles composant la note globale :

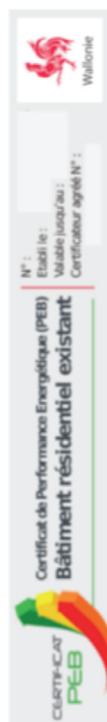
- L'enveloppe du bâtiment est très peu performante ce qui est le cas des logements anciens qui ne sont absolument pas isolés, qui n'ont pas été rénovés et dont les vitrages sont peu performants. La page 2 apporte une valeur plus précise de la qualité de l'enveloppe.

- Le système de chauffage est « mauvais ». La page 2 du certificat donne le détail du type de production et de son rendement.

- Le système de production d'eau chaude est « très mauvais ». La page 2 du certificat donne également le détail du type de production et de son rendement.

- Aucun système de ventilation n'est présent et l'éanchéité est celle par défaut (car pas de test blowerdoor effectué) d'où le « Smiley » rouge. Ceci est normal vu l'âge de l'habitation et le fait qu'elle n'a pas été rénovée depuis.

- Comme aucun système de production d'énergie renouvelable n'est présent, la case reste vide.



Données administratives			
Rue :	N° :	Boîte :	
CP :	Localité :		
Impact sur l'environnement - émissions de CO ₂			
Émissions de CO ₂ du bâtiment : 22265 kg CO ₂ /an			
Émissions de CO ₂ spécifiques : 101 kg CO ₂ /m ² .an			
Description du bâtiment et des installations			
Volume protégé : 678 m ³			
Surface de plancher chauffée : 221 m ²			
Performance de l'enveloppe du bâtiment : 290 kWh/m ² .an			
Besoins net en énergie / surface de plancher chauffée			
Générateur(s) de chaleur pour le chauffage des locaux : Chaudière, non à condensation, Gaz naturel			
Performance des installations pour le chauffage des locaux : 59 %			
Rendement global sur énergie primaire			
Générateur(s) de chaleur pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire : Chaudière, Avec stockage séparé, Gaz naturel			
Performance des installations pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire : 14 %			
Rendement global sur énergie primaire			

Rappel des coordonnées relatives au bâtiment

Ces valeurs représentent les émissions de CO₂ du bâtiment pour une année complète (kg de CO₂/an) et exprimées en kg de CO₂/m².an, ce qui permet de comparer plus facilement des bâtiments différents. Ces valeurs sont influencées entre autres par les différents systèmes.

L'ensemble des volumes du bâtiment souhaité protéger thermiquement de l'extérieur

L'ensemble des surfaces de plancher du bâtiment faisant partie du volume protégé

Cette performance de l'enveloppe en kWh/m².an est ici assez élevée ce qui est cohérent vu que les parois du bâtiment ne sont pas isolées et qu'il y a du simple vitrage. Ce besoin net en énergie permet de connaître une valeur de la qualité de l'enveloppe pour chaque bâtiment indépendamment du système de chauffage et du combustible utilisé.

Ceci renseigne sur le type de chauffage. Le rendement du système, par rapport à l'énergie primaire, indique que pour 1 kWh fabriqué, 59% servent réellement au chauffage du bâtiment. Ce rendement global dépend des rendements d'émission (régulation, thermostat, position des radiateurs, etc.), de stockage et de distribution (distance, conduite dans espace non chauffé, etc.). Pour améliorer le rendement global, il faudrait par exemple : régler le brûleur à l'aide d'une régulation climatique avec sonde extérieure, couplée au thermostat d'ambiance ; isoler les conduites du chauffage central situées à l'extérieur ou dans des espaces non chauffés ; prévoir une régulation des pompes de circulation, etc.

Le principe est le même pour la production de l'eau chaude. Le rendement global sur énergie primaire du système est mauvais et indique que pour 1 kWh fabriqué, 16% servent réellement au chauffage de l'eau. Le rendement est influencé par la production (type de production, vecteur énergétique, etc.) et la distribution (présence d'une boucle de circulation, distance de puisage, etc.).





Analyse d'un certificat PEB d'un Appartement de 2011

CERTIFICAT DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE (PEB) Bâtiment résidentiel existant

N° :
 Établi le :
 Valable jusqu'au :
 Certificat agréé N° :

Données administratives

Rue :
 CP :
 Localité :
 N° :
 Boîte :
 Type de bâtiment : **Appartement**
 Permis de bâtir/d'urbanisme/unique obtenu le :
 Numéro de référence du permis :
 Construction : **2011**
 Version du protocole : **15/01/2012**
 Prix du certificat (TVAIC) : **150,00 €**
 Version du logiciel :

Photo

Indicateurs spécifiques

Consommation énergétique calculée du bâtiment

Consommation totale d'énergie primaire **7213 kWh/m².an**

Consommation spécifique d'énergie primaire **E_{ep} kWh/m².an**

Classe	E _{ep} (kWh/m².an)
A++	≤ 45
A+	46 - 55
A	56 - 65
B	66 - 75
C	76 - 85
D	86 - 95
E	96 - 105
F	106 - 115
G	116 - 125

Cette consommation est établie sur base d'une occupation d'un bâtiment résidentiel existant. Elle ne tient pas compte de la consommation réelle. Cette approche standardisée permet de comparer les bâtiments entre eux, de manière théorique. Elle prend en compte la consommation pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, la ventilation, les auxiliaires (circulateur, ventilateur, ...), un éventuel refroidissement et renouvelable (panneaux solaires, cogénération).

Cette consommation spécifique d'énergie primaire (Espep) exprimée en kWh/m².an permet de comparer tous les bâtiments selon une performance globale par rapport à la surface de plancher chauffé symbolisée par une lettre en fonction de sa consommation. Ici la cote est très bonne et meilleure que les exigences en vigueur à la date du dépôt de la demande de permis d'urbanisme (ici, avant 1^{er} mai 2010).

Indicateurs spécifiques permettent de cibler les niveaux de performances des différents pôles composant la valeur globale :

- L'enveloppe du bâtiment est très performante ce qui lui vaut un « très bon » ! L'isolation a été poussée. Notons qu'il est plus facile d'atteindre des résultats performants avec ce type de logement (appartement). La page 2 apporte une valeur plus détaillée de la qualité de l'enveloppe.
- Par contre les systèmes de chauffage et de production d'eau chaude sont « très mauvais ». La page 2 du certificat permet de comprendre le pourquoi (la cause principale est l'utilisation d'électricité).
- La ventilation est mécanique avec récupérateur de chaleur ce qui explique le « Smiley » vert attestant de la présence d'une ventilation. La valeur pour l'étanchéité est celle par défaut car aucun test blowerdoor n'a été fait pour attester une meilleure étanchéité. Dans ce cas-ci, cette attestation permettrait d'améliorer la note globale.
- Comme aucun système de production d'énergie renouvelable n'est présent, la case reste vide.

Certificat agréé N° :

Nom :
 Prénom :
 Rue :
 CP :
 Localité :
 N° :
 Boîte :
 Pays :
 Signature :
 Date :

Je déclare que toutes les données reprises sur ce certificat sont conformes à la réalité.

Page 1 sur 2







CERTIFICAT
PEB

Certificat de Performance Energétique (PEB)
Bâtiment résidentiel existant

N° :
Etabli le :
Valable jusqu'au :
Certificateur agréé N° :



Données administratives

Rue :
CP :
Localité :
Boîte :
N° :

Impact sur l'environnement - Emissions de CO₂

Emissions de CO₂ du bâtiment : 2057 kg CO₂/an
Emissions de CO₂ spécifiques : 25 kg CO₂/m².an

Description du bâtiment et des installations

Volume protégé : 257 m³
Surface de plancher chauffée : 82 m²
Performance de l'enveloppe du bâtiment : 15 kWh/m².an
Besoins nets en énergie / surface de plancher chauffée
Générateur(s) de chaleur pour le chauffage des locaux : Chauffage électrique
Performance des installations pour le chauffage des locaux : 38 %
Rendement global sur énergie primaire
Générateur(s) de chaleur pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire : Chauffage électrique, Avec stockage
Performance des installations pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire : 27 %
Rendement global sur énergie primaire

Rappel des coordonnées relatives au bâtiment

Ces valeurs représentent les émissions de CO₂ du bâtiment pour une année complète (kg de CO₂/an) et exprimées en kg de CO₂/m².an, ce qui permet de comparer plus facilement des bâtiments différents. Ces valeurs sont influencées entre autres par les différents systèmes.

L'ensemble des volumes du bâtiment que l'on a souhaité protéger thermiquement de l'extérieur

L'ensemble des surfaces de plancher du bâtiment faisant partie du volume protégé

Cette performance de l'enveloppe en kWh/m².an est ici extrêmement basse : elle correspond à l'exigence des besoins nets de chauffage du standard passif (notons que ce bâtiment n'est pas certifié passif pour autant). Ce besoin net en énergie permet de connaître une valeur pour chaque bâtiment indépendamment du système de chauffage et du combustible utilisé. Il est révélateur de la qualité de l'enveloppe.

Ceci renseigne sur le type de chauffage qui, dans ce cas-ci, est électrique. Ce qui fait diminuer la côte du « Système de chauffage » dans les indicateurs spécifiques de la page 2. Le rendement global sur énergie primaire du système indique que pour 1 kWh fabriqué, seul 38% servent réellement au chauffage du bâtiment. Ceci est dû au mauvais rendement de production de l'énergie électrique en centrale. Pour améliorer le rendement global, il est recommandé de remplacer l'installation de chauffage électrique local. Notons que ce rendement global dépend des rendements d'émission, de stockage et de distribution de l'installation.

Le principe est le même pour la production de l'eau chaude qui est, ici, également électrique ce qui fait diminuer la côte de « Système de production d'eau chaude sanitaire » des indicateurs spécifiques car le rendement global sur énergie primaire du système est mauvais et indique que pour 1 kWh fabriqué, 27% servent réellement au chauffage de l'eau. Ce si faible rendement est principalement dû à son système électrique. Notons que ce rendement global dépend de la production et la distribution de l'eau chaude.



Conclusion

Le choix d'un logement doit donc rencontrer beaucoup de critères afin de répondre à un schéma durable. Il devrait tenir compte de plusieurs paramètres tels que :

- une implantation optimale liée à des caractéristiques physiques du terrain et urbanistiques du lieu, et à des objectifs de confort des habitants ;
- un contexte mixte dans un pôle compact permettant de réduire les kilomètres parcourus et de recourir aux usages des transports en commun et des modes doux ; et
- un bâtiment performant et flexible à l'épreuve du temps même s'il n'est pas évident de combiner les désirs relatifs à l'esthétique d'un bâtiment ayant une façade qui a un certain « cachet » avec ceux d'un bâtiment performant ; il est cependant possible d'améliorer celui-ci, en ayant recours à une rénovation afin d'améliorer certaines de ses caractéristiques.

Trouver et évaluer un logement rencontrant tous ces critères n'est pas évident. Les certificats de performances énergétiques des bâtiments (PEB) permettent de se rendre compte et de comparer les valeurs énergétiques relatives aux bâtiments. Pour évaluer de manière plus globale les critères d'implantation et de performances énergétiques, un outil interactif, développé dans le cadre du projet de recherches SAFE et accessible sur www.safe-energie.be, permet de comparer, de manière rapide et abordable, l'énergie utilisée pour le déplacement des personnes (domicile-travail et domicile-école) et celle relative au chauffage et à la ventilation du logement.



Références

- de Meester T. [2009]. Guide de la rénovation basse énergie des logements en Belgique. LEHR, Low Energy Housing Retrofit- Low Energy Housing Retrofit, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain, financé par la Politique Scientifique Fédérale, dans le cadre du « Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique », www.lehr.be, 2009.
- Guillemé J.-M. et al. [2010]. Performance énergétique des bâtiments, Guide Bâtiment résidentiel, Guillemé J.-M., P. Wagelmans, J. Wagelmans, M.-C., Pirenne, Editions de l'Université de Liège, Liège, 2010
- Massart C., De Herde A. [2010]. Conception de maisons neuves durables, Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie, Architecture et Climat – UCL, financé par Service Public Wallonie DG04 Département de l'Energie et du Bâtiment durable, 2010.
- TRACHTE S. [2009]. Advanced housing renovation with solar and conservation, IEA SHC TASK 37, SUBTASK D environmental, impact, assessment, Architecture et climat, Université Catholique de Louvain, 2009





Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier :

- SAFE.GEN02 : L'étalement urbain - qu'est-ce que c'est ?
- SAFE.MOB02 : Consommations d'énergie pour le transport et structure du territoire en Wallonie
- SAFE.MOB03 : Comment réduire vos consommations d'énergie relatives au transport ?
- SAFE.BAT03 : La rénovation : quelles démarches suivre?
- SAFE.BAT04 : L'amélioration des ouvertures ou la valorisation des sources lumineuses
- SAFE.BAT06 : L'impact du comportement des occupants

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lema.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be



Auteurs de la fiche

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain

T. de Meester et Prof. A. De Herde

Place du Levant, 1

1348 Louvain-La-Neuve

Tatiana.demeester@uclouvain.be

+32 10 47 23 34

<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Utilisateurs de l'outil, chercheurs



Logement, évaluation énergétique



SAFE.BAT02

Comment sont calculées les consommations relatives au logement dans l'outil SAFE ?



Les points principaux

- Des méthodes ont été développées pour évaluer les consommations d'énergie et les émissions de CO₂ relatives au chauffage et à la ventilation de différents types de logements.
- Ces méthodes sont exploitées pour développer l'outil interactif SAFE (www.safe-energie.be)
- Différents paramètres sont pris en compte dans l'évaluation bâtiments comme le type de bâtiments, sa période de construction, l'épaisseur d'isolation dans les parois, le type de vitrages, le système de chauffage, etc.
- Des simulations thermiques dynamiques ont été réalisées pour évaluer les besoins nets de chauffage des différents types de logement proposé.



Résumé

L'outil interactif (www.safe-energie.be) développé dans le cadre du projet SAFE (Suburban Areas Favoring energy efficiency) doit permettre à différentes catégories d'utilisateurs d'évaluer les consommations énergétiques relatives à leurs déplacements et au chauffage de leur habitation, à comparer ces deux postes et à trouver des pistes d'amélioration concrètes et une quantification des gains énergétiques potentiels relatifs à plusieurs stratégies. L'outil interactif comprend trois outils d'évaluation distincts : une évaluation individuelle rapide, une évaluation individuelle détaillée et une évaluation à l'échelle de tout un quartier. Cette fiche présente les méthodes et paramètres pris en compte pour évaluer les consommations énergétiques relatives au chauffage et à la ventilation des bâtiments dans ces trois outils d'évaluation.



© SAFE

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Avril 2012



Développement de méthodes d'évaluation énergétique des logements

Les trois outils d'évaluation proposés sur le site SAFE (www.safe-energie.be) proposent entre autres d'évaluer les consommations d'énergie relatives au chauffage et à la ventilation. Ces consommations sont basées sur les besoins nets de chauffage des différents types de logements proposés, obtenus au moyen de simulations thermiques dynamiques. Les résultats présentés prennent en compte différents paramètres comme le type de bâtiments, l'épaisseur d'isolation des parois, le type de vitrages, le système de chauffage, la ventilation, etc. L'intérêt est de pouvoir composer des logements et de les comparer entre eux, de tester différentes compositions de quartier et de trouver des pistes d'amélioration concrètes et une quantification des gains énergétiques potentiels relatifs à plusieurs stratégies.

L'évaluation individuelle rapide



L'outil d'évaluation individuelle rapide permet une première approche des consommations énergétiques relatives aux consommations des bâtiments. Cet outil s'adresse principalement à un individu ou un ménage désireux d'estimer de façon très rapide ses consommations énergétiques et d'obtenir quelques pistes d'améliorations concrètes et chiffrées. Les informations à compléter pour obtenir les résultats sont volontairement limitées en nombre et relativement simples de façon à pouvoir compléter les formulaires rapidement et facilement. L'utilisateur choisit un type d'habitation, la taille de celui-ci (de la surface chauffée), l'année de construction ou un standard (basse énergie, très basse énergie ou passif) et le système de chauffage ou l'appoint.

La première page de résultats présente sous forme de graphe des valeurs qui sont issues de simulations de cas types qui permettent de donner une idée des consommations d'un bâtiment, malgré que ces résultats restent cependant peu représentatifs des cas particuliers. Les résultats sont présentés en kWh/m²an ou encore de kWh par an sous forme de consommations de chauffage et de ventilation, et de consommations en énergie primaire. Les émissions de CO₂ associées aux consommations





sont également présentées.

La deuxième page permet de comparer les consommations du logement et des transports d'un ménage type constitué de deux adultes travaillant à temps plein et de deux enfants scolarisés. Puis troisième page propose des améliorations adaptées au logement en fonction des paramètres entrés.

L'évaluation individuelle détaillée



L'outil d'évaluation individuelle détaillée permet quant à lui d'estimer plus précisément les consommations énergétiques relatives aux logements que l'évaluation individuelle rapide. Il permet en effet de tenir compte plus facilement des éventuelles rénovations qui auraient été effectuées depuis la construction du bâtiment. Les informations à compléter pour obtenir les résultats sont, à la demande, plus importantes que celles de l'outil d'évaluation rapide. Cet outil s'adresse principalement à un individu ou un ménage désireux d'estimer de façon plus précise ses consommations énergétiques et d'obtenir quelques pistes d'améliorations concrètes et chiffrées.

Les données à entrer dans cette évaluation détaillée sont les mêmes que pour l'évaluation rapide, mais la possibilité est donnée de changer quelques valeurs par défaut. Cinq paramètres peuvent être adaptés : le niveau d'isolation moyen du logement, l'isolation dans le toit, le type de vitrage, le type de ventilation (dont le choix dépend du niveau d'isolation choisi) et la consigne de température. Les valeurs proposées proviennent des mêmes simulations thermiques dynamiques que pour le test rapide.

Les mêmes genres de résultats sont présentés au moyen de graphes présentant les consommations de chauffage et de ventilation, leur équivalent en énergie primaire, les émissions de CO₂ qui en découlent. Cet ensemble de résultats est mis en parallèle avec ceux d'un cas référent correspondant à ce bâtiment s'il avait été construit en 2011. L'évaluation des consommations et de la performance de ce logement est ensuite présentée à travers les consommations de ce logement suite à différentes mesures de rénovation.

La page suivante permet de comparer les consommations de chauffage et de ventilation avec celles issues du transport dont les données d'entrée ont également été introduites de manière plus précise et personnalisées. Enfin la dernière page présente des propositions d'améliorations, mais qui seront d'autant plus précises et adaptés au bâtiment concerné que les données introduites le permettent.



L'évaluation d'un quartier



L'outil d'évaluation d'un quartier permet de réaliser une évaluation énergétique de tout un quartier, au niveau des consommations énergétiques relatives aux logements. Cet outil s'adresse principalement aux professionnels de la construction et de l'aménagement du territoire désireux d'estimer de façon rapide les consommations énergétiques d'un quartier existant, en projet ou sujet à une rénovation globale, énergétique, dans un but de densification, etc. et d'obtenir quelques pistes d'améliorations concrètes et chiffrées.

Le formulaire propose de rentrer maximum 4 types différents de logement composant le quartier. Chaque type est introduit à tour de rôle dans un formulaire qui lui est propre et est défini en choisissant le type d'habitation, la taille de celle-ci, son année de construction ou sa performance sous forme de standard, si l'isolation du toit a été renforcée, le type de vitrage, la consigne de température, le système de chauffage ou l'appoint et pour finir le nombre de logements représentatifs de ce type.

La page de résultat présente sous forme de graphe les consommations totales de chauffage et de ventilation ainsi que les consommations totales en énergie primaire de l'ensemble du quartier. Celles-ci sont comparées à un ensemble de cas référents, correspondant aux cas types introduits et constituant ce même quartier en supposant que celui-ci a été construit en 2011. Chaque type de bâtiment est ensuite repris un à un de manière à mettre en évidence l'impact de chacun des bâtiments de manière individuelle. Ce quartier est ensuite comparé aux consommations de ce même quartier mais si les différents types avaient tous un niveau de performance basse énergie, très basse énergie et passif.

La page suivante permet de comparer les consommations de chauffage et de ventilation avec celles issues du transport au niveau du quartier. La dernière page présente des possibilités d'améliorations des bâtiments composant le quartier en tenant compte des qualités et faiblesses des différents types de logements. Notons que l'impact de la forme urbaine n'est pas pris en compte.



Hypothèse des simulations et des résultats

La méthode d'évaluation des consommations des logements a débuté par l'établissement d'une typologie de bâtiments basée sur l'évolution des techniques constructives et des réglementations thermiques, et sur une analyse de typologie des bâtiments (Kints,





2008 ; Vanneste, 2007 et energie.wallonie.be). Cela a permis d'identifier cinq périodes de construction clef : pré-1950, 1951-1980, 1981-1995, 1996-2011, post-2011. Trois types de bâtiment (« 4 façades », « 3 façades » et mitoyen) ont été investigués sur base de bâtiments existants et ils ont été développés à différentes tailles. Des gains internes moyens ont été définis selon un horaire, ainsi que des compositions de parois types. La variation des épaisseurs d'isolants, différents types de vitrages, de ventilations, d'infiltration d'air, etc. a été développée et analysée. Ces paramètres une fois combinés ont fait l'objet de simulations thermiques dynamiques afin d'analyser et de déterminer les besoins de chauffage et/ou de ventilation de tous les cas traités. L'étude s'est également intéressée à l'élaboration de « bâtiments référents » répondant aux exigences actuelles pour les nouvelles constructions (E 80 et Espec 130, depuis septembre 2011). Pour compléter ces données, les standards de rénovation « basse énergie » et « très basse énergie » et le standard « passif » ont été considérés à la fois comme référents, mais également et surtout en tant qu'objectif potentiel à atteindre en rénovation. Les besoins nets connus (en kWh/m² et en kWh), les différents cas ont été associés à des systèmes de chauffages permettant de définir en fonction de leurs rendements respectifs, les consommations effectives des bâtiments. Les consommations ont été étendues aux consommations en énergie primaire et puis convertie pour obtenir l'équivalent de ces consommations en émissions de CO₂.

L'intérêt de cette étude dont le thème a déjà été souvent exploité a été de permettre d'investiguer leur état actuel et de mettre en avant les possibilités de rénovation des logements suite à de petites ou de plus importantes améliorations énergétiques, et ce, tant à l'échelle du bâtiment qu'à celles du quartier.

Les bâtiments simulés

Les résultats présentés sont issus de simulations thermiques dynamiques faites avec le logiciel TAS (Jones A.M., 2010). Le fichier météo utilisé est un climat d'Uccle représentatif du climat en Région wallonne (ASHRAE, 2009). Pour ajuster le climat à la zone d'implantation du bâtiment simulé, les résultats présentés dans l'outil sont adaptés en fonction des degré-jours du lieu. Afin d'obtenir des résultats les plus représentatifs, l'étude s'est basée, pour l'outil, sur 3 bâtiments types réels et représentatifs du bâti wallon : une maison unifamiliale de 4 façades, une de 3 façades et une 2 façades. De ces 3 bâtiments, 9 autres ont été modélisés à différentes tailles pour permettre d'avoir des échantillons de chaque type à différentes tailles (ou surfaces chauffées).

La taille du bâtiment a déterminé ses gains internes, la taille des différentes zones, les débits de ventilation des systèmes A, C et D. Tandis que le type du bâtiment a déterminé les pourcentages d'ouvertures des parois (les fenêtres) et les proportions du bâtiment que chaque type garde peu importe sa taille.

Ces 4 tailles de bâtiments sont étendues à un plus grand ensemble de tailles en suivant une courbe de tendance linéaire afin de proposer une valeur de demande de chauffage annuelle pour une plus large variété de taille de logements.

Les paramètres composant les bâtiments

La modélisation des bâtiments a impliqué le choix de nombreux paramètres et hypothèses pour déterminer les cas d'étude afin



qu'ils soient les plus représentatifs et réalistes possible. (NORME NBN B 62-002, 2008 ; NORME D50-001, 2008 ; Massart et De Herde, 2010 ; Delmotte, 2008 ; PEB, 2007)

Les parois

Une paroi type a été envisagée dont l'épaisseur d'isolant varie. Ces parois sont proposées à l'utilisateur, soit indirectement par un choix d'une année de construction soit directement par un choix personnel (comme dans l'évaluation détaillée). Le tableau ci-dessous reprend les compositions de parois utilisées pour les simulations.

Tableau 1 : Composition des parois

Nom de la paroi	Composition	Epaisseur [mm]
Mur extérieur creux	Enduit plâtre	15
	Bloc de béton semi-lourd	140
	(Isolation)	80
	Vide ventilé	50
	Brique	90
Plancher sur cave	Carreaux de grès	10
	Chape béton	70
	(Isolation)	90
	Hourdis	160
Plafond inter étage	Plancher	10
	Chape béton	70
	Hourdis	160
	Enduit plâtre	15
Plafond Etage - Comble	Plancher	10
	(Isolation)	130
	Enduit plâtre	15
Mur intérieur	Enduit plâtre	15
	Bloc de béton semi-lourd	60; 110
	Enduit plâtre	15

Plusieurs épaisseurs d'isolation dans les parois ont donc été modélisées et simulées avec la possibilité de choisir une surépaisseur pour l'isolation des toits. Quatre types de vitrages ont été modélisé et ont été simulés en fonction de l'épaisseur d'isolant choisi : le simple vitrage ($U=5.8 \text{ W/m}^2\text{K}$) [SV], le double vitrage ancien ($U=2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$) [DVA], le double vitrage performant ($U=1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$) [DVP] et le triple vitrage ($U=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$) [TV]. Le Tableau 2 reprend entre autres l'ensemble des différentes épaisseurs d'isolation testées et les vitrages proposés pour ces épaisseurs.

Tableau 2 : Différentes épaisseurs d'isolation simulées et choix des vitrages et des types de ventilation proposés en fonction de ces épaisseurs.

Epaisseurs d'isolation dans les parois (cm)	Epaisseurs d'isolation dans le toit (cm)	Types de vitrage	Types de ventilation
0	0 ou 16	SV, DVA, DVP	A
3	3 ou 16	SV, DVA, DVP	A
6	6 ou 16	SV, DVA, DVP	A
10	10 ou 20	SV, DVA, DVP, TV	C
		DVP, TV	D
15	15 ou 30	DVA, DVP, TV	C
		DVP, TV	D
20	20 ou 30	DVA, DVP, TV	C
		DVP, TV	D
25	25 ou 35	DVA, DVP, TV	C
		DVP, TV	D
30	30 ou 35	DVA, DVP, TV	C
		DVP, TV	D

Les simulations fournissent entre autres les demandes de chauffage pour les bâtiments. Puis en fonction du choix du système de chauffage, la consommation est calculée.

Les gains internes

Les gains internes ont été définis en fonction de la taille du logement et de la fonction des pièces puisque les tailles des maisons et donc leurs nombres d'occupants, de pièces, etc. varient. Ceci est permis grâce à des simulations multizones et permet de ne pas négliger les éventuels phénomènes de surchauffe car ces effets de surchauffes sont brouillés lors de simulations en monozone.

La modélisation des gains internes prend en compte tout ce qui est susceptible d'émettre de la chaleur à l'intérieur du bâtiment. Ceci est essentiel dans un travail d'analyse à différents niveaux de performance énergétique car ces gains internes peuvent être à la source de surchauffes,...

C'est de la valeur de gains internes obtenus expérimentalement lors du monitoring de la maison Pléiade (De Herde et Bodart, 1994) que se base la référence de la valeur à atteindre. Les gains seront répartis entre les différentes pièces de la maison. De cette occupation découlera l'éclairage, l'utilisation de télévision ou d'ordinateur ou encore la cuisson de repas. Ces gains internes sont définis sur une journée et sont constants tout au long de la semaine et de l'année. Cette modélisation des gains internes ne prend pas en compte les congés passés dans la maison ni ceux passés hors de la maison (tels les week-ends ou les grandes vacances). Les modélisations des gains internes dans TAS se sont donc s'efforcer d'être les plus fidèles à la réalité de manière à pouvoir analyser les besoins exacts de chauffage.



Les standards

L'outil propose 2 standards de rénovation : le basse énergie (besoin net de chauffage de $\leq 60 \text{ kWh/m}^2\text{an}$) et le très basse énergie (besoin net de chauffage de $\leq 30 \text{ kWh/m}^2\text{an}$) et le standard maison passive (besoin net de chauffage de $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{an}$). Puisque ces standards ont un objectif de performance à atteindre, le besoin net exigé est imposé à tous les types de bâtiment. Le système de chauffage ou d'appoint choisi permettra d'indiquer la consommation de chauffage (voir plus bas).

Les cas référents

Afin situer les résultats du bâtiment entré face à une valeur de référence, des cas référents ont été établis. Ces cas référents (un pour chaque taille proposée et pour chaque type proposé soit 51 en tout) représentent un bâtiment sélectionnable indépendamment de son système de chauffage (dimension, proportion, etc.) en supposant qu'il a été construit après septembre 2011. Cela implique qu'il respecte les exigences du E 80 et Espec 130. Pour que tous ces bâtiments référents soient cohérents entre eux, les coefficients de transfert thermique de leurs parois ont été fixés afin qu'ils correspondent aux U_{max} . Le simple respect des U_{max} ne garantit évidemment pas d'atteindre les exigences globales qui tiennent compte de la consommation d'énergie primaire du bâtiment ce qui implique de prendre en compte la consommation d'énergie du chauffage des locaux, de l'eau chaude sanitaire, du recours à des auxiliaires et à une climatisation éventuelle... La ventilation est considérée comme étant mécanique double flux puisque 65% des nouvelles constructions sont munies de ce type de ventilation à l'heure actuelle (Langendries et al., 2008) ce qui, signalons le, n'est pas une obligation.

Cela a pour conséquence que par exemple une maison de petite taille mitoyenne sera assez performante et atteindra sans problème, voir même dépassera les exigences finales. Mais a contrario, dans le cas d'une maison 4 façades de grande taille, l'exigence des U_{max} ne suffira pas à elle seule à atteindre les objectifs, mais cela deviendra possible par l'ajout de panneaux solaires par exemple. La présence de ces ajouts est donc signalée dans les bulles vertes de l'outil. L'ajout de ces panneaux solaires n'est pas indispensable pour atteindre les exigences actuelles, l'augmentation de l'isolation dans les parois pourrait suffire mais cela dépend également du système de chauffage et de ventilation.

Toujours afin de garantir que les cas de références atteignent une consommation d'énergie primaire du bâtiment correspondant aux exigences (E 80 et Espec 130), ils sont tous évalués avec un système de chauffage à condensation au mazout. En effet, certains des systèmes proposés sont peu adaptés dans le cas de ce standard pour répondre aux exigences finales.

Les résultats de ce cas référents servent également aux résultats des constructions « Après 2011 ». Là aussi lorsque l'utilisation de panneaux solaire est nécessaire pour atteindre les exigences, un message le signale dans la partie « Résultat ». Mais à la différence des cas référents, les résultats correspondant à la sélection « après 2011 » respectent le choix du système de chauffage sélectionné par l'utilisateur.



Les systèmes

Les systèmes de chauffage

Les systèmes de chauffage proposés permettent d'établir les consommations de chauffage qui découlent de diverses pertes de rendement. Le rendement global de chacun des 23 systèmes de chauffage proposé (soit local ou central) est appliqué à la demande de chauffage de la maison (aux besoins nets de chauffage). Les différents rendements propres à chacune des 23 installations de chauffage proposées ont été calculés sur base de l'Annexe I du Décret wallon sur la performance énergétique des bâtiments (PEB, 2007). Les coefficients de conversion des consommations en énergie primaire proviennent également de cette Annexe I.

La ventilation

Trois types de ventilation des bâtiments sont envisagés et ont été simulées :

- ventilation manuelle (système de type A),
- ventilation avec extraction mécanique (système de type C),
- ventilation avec un double flux mécanique et récupérateur de chaleur de rendement à 85% (système de type D).

La ventilation de type A dépend des ouvertures de fenêtres ou des grilles présentes dans les fenêtres. Cela peut varier énormément en fonction des tailles de fenêtres et des bâtiments, mais aussi en fonction des utilisateurs. Afin de proposer un débit proportionnel à chaque type de maison et à chaque taille, le débit de ventilation des systèmes A correspond à ceux des systèmes C. La différence réside en l'utilisation d'une ventilation mécanique dans le cas des systèmes de type C. Ces débits ont été calculés selon la Norme D50-001 (NORME D50-001, 2008).

Le thermostat

Deux systèmes de thermostats sont proposés :

- température continue de 20°C,
- température horaire de 20°C (de 6h à 8h et de 17h à minuit) avec une diminution à 16°C la nuit et en journée.

Ceux-ci sont définis de manière à assurer un confort thermique.

Tous les cas ont été simulés pour ces deux types de thermostats excepté dans 4 cas : pour les 3 standards et les cas « Après 2011 ». Notons que seul l'outil d'évaluation détaillée et du quartier propose ce choix. Pour l'outil « Rapide », le thermostat à 20°C en continu est imposé et l'effet du second est explicité au niveau de ces améliorations.

Les consommations de CO₂

Les évaluations des émissions de CO₂ sont calculées pour le chauffage et la ventilation en fonction de facteurs de conversion (IBGE, 2010 et Energie+ 2010).





Les limites des résultats proposées

L'avantage des résultats présenté est de pouvoir quantifier les consommations d'énergie et émissions de CO₂ relatives aux logements de manière rapide et facile. Cela rend une comparaison des consommations d'énergie et émissions de CO₂ d'un logement avec le secteur du transport des personnes. Cependant, rendre accessible aussi facilement et rapidement des résultats relatifs aux bâtiments nécessite d'être attentif et critique face aux résultats proposés dans le site :

- L'outil se base sur des simulations de 12 bâtiments types différents (un 4 façades, un 3 façades et un mitoyen pour 4 tailles différentes) ce qui apporte des résultats qui ne sont pas représentatifs de tous les types de bâtiments et peu représentatifs des cas particuliers ;
- Dans les évaluations, les impacts de la forme urbaine n'ont pas été pris en compte ;
- Peu d'information doivent être introduite ce qui implique une simplification importante des paramètres composant et influant le bâtiment comme la composition des murs, les pourcentages de fenêtre vitrée, etc.



Références

- ASHRAE [2009]. IWECA Weather Files (International Weather for Energy Calculations) from ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2009.
- De Herde et Bodart [1994]. Les conclusions de Pléiade, De Herde A., Bodart M., Université catholique de Louvain Architecture et Climat, 1994.
- Delmotte C. [2008]. Réglementation sur la performance énergétique des bâtiments : du nouveau à Bruxelles et en Wallonie, C. Delmotte, Les Dossiers du CSTC, N° 4, Cahier n° 1, 2008.
- energie.wallonie.be, avril 2010.
- Energie+ [2010]. Energie+ version 6, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain (Belgique) 2010, réalisé avec le soutien de la Wallonie - DGO4 - Département de l'Energie et du Bâtiment Durable. Disponible sur : <http://www.energieplus-lesite.be>
- IBGE [2010]. Choisir le meilleur mode de production de chaleur, Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, Recommandation pratique ENE 14, IBGE 2010
- Jones A.M. [2010]. EDSL Ltd., TAS, Software package for the thermal analysis of buildings. 13/14 Cofferridge Close, Stony Stratford, Milton Keynes, MK11 1BY, United Kingdom, 2010.
- Kints, C. [2008]. La rénovation énergétique et durable des logements wallons. Analyse du bâti existant et mise en évidence des typologies de logements prioritaires, Architecture & Climat, UCL, Ministère de la Région Wallonne (MRW-DGTRE), International Energy Agency, Solar heating & cooling of Task 37 and Federal Science Policy, project LEHR (www.lehr.be).





- Langendries D., J.-M. Hauglustaine, F. Renard [2008]. Présentation Construire avec l'énergie, Au tournant de la PEB, CSTC-CCW-FPMs-IFAPME-UCL-ULg, Louvain-la-Neuve, Mai 2008.
- Massart C. et De Herde A. [2010]. Conception de maisons neuves durables, Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie, Architecture et Climat – UCL, financé par Service Public Wallonie DGO4 Département de l'Energie et du Bâtiment durable, 2010.
- NORME D50-001 [2008]. NORME NBN D50-001, Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation, Bruxelles, NBN, 2008.
- NORME NBN B 62-002, Performances thermiques de bâtiments. Calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) des composants et éléments de bâtiments. Calcul des coefficients de transfert de chaleur par transmission (valeur HT) et par ventilation (valeur Hv), Bruxelles, NBN, 2008.
- PEB [2007]. Décret wallon sur la performance énergétique des bâtiments (2007), Annexe I : Méthode de détermination du niveau de consommation d'énergie primaire des bâtiments résidentiels, and Annexe III : Valeurs U maximales admissibles ou valeurs R minimales à réaliser.
- Vanneste D. [2007]. Enquête socio-économique 2001 monographies : Le logement en Belgique, VANNESTE D., THOMAS I., GOOSSENS L., Editeur responsable : N. DEMEESTER, SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie, Direction générale Statistique et Information économique, Bruxelles 2007



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier :

- SAFE.MOB01 : Comment sont calculées les consommations relatives au transport dans l'outil SAFE ?

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lemma.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Utilisateurs de l'outil, chercheurs



Logement, évaluation énergétique



Auteurs de la fiche

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain

T. de Meester et Prof. A. De Herde

Place du Levant, 1

1348 Louvain-La-Neuve

Tatiana.demeester@uclouvain.be

+32 10 47 23 34

<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public



Général, bâtiment, rénovation



SAFE.BAT03

La rénovation : quelles démarches suivre?



Points principaux

- Cette fiche a pour but de mettre en avant les enjeux de la rénovation des logements : Les objectifs et un organigramme des étapes d'une rénovation y sont présentés
- Le projet de rénovation est une occasion de repenser l'habitation dans son ensemble en tenant compte de son environnement à travers la conception du projet, ses matériaux, la gestion de l'eau, etc.
- Les potentielles réductions des demandes de chauffage suite à une rénovation de l'enveloppe sont illustrées par des résultats de simulations.



Résumé

Les quartiers périurbains ont un énorme potentiel de rénovation. Celle-ci, dans la majorité des cas, peut atteindre facilement d'excellents niveaux de performance. Lors d'une rénovation, un équilibre devra être trouvé entre les objectifs énergétiques que veulent atteindre les propriétaires et le budget qu'ils comptent allouer à ces travaux. La particularité de la rénovation est que la construction existante est déjà définie par ses caractéristiques. Il est important de pouvoir les identifier, afin de préserver, accentuer ou minimiser certaines propriétés physiques et dynamiques, comme l'inertie, l'étanchéité, l'isolation, la ventilation, la présence de ponts thermiques. Une rénovation globale passe aussi par une réflexion sur son environnement.



© SAFE - <http://www.safe-energie.be>

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Avril 2012



La rénovation : quelles démarches suivre?

Les quartiers périurbains ont un énorme potentiel de rénovation qui peut facilement, dans la majorité des cas, atteindre de très bons niveaux de performance. La manière dont va se dérouler une rénovation va dépendre de ce que recherche le ménage et de leurs besoins. Un équilibre devra être établi entre les objectifs énergétiques qu'ils veulent atteindre et le budget qu'ils comptent allouer aux travaux de rénovation. Une rénovation énergétique aura un impact direct sur les consommations de chauffage et sur la sensation de confort ; et elle peut s'étendre à une diminution de la consommation de l'eau chaude-sanitaire, de la consommation d'électricité et de la puissance de l'installation de chauffage.



L'organigramme d'une rénovation

Une rénovation durable doit consister en une approche globale. Il ne faut pas se contenter d'améliorer uniquement les performances énergétiques et environnementales du bâtiment. Mais il est également essentiel de développer une réflexion concernant le contexte dans lequel le bâtiment rénové devra s'intégrer. Cela se traduit par l'importance d'une mixité sociale, d'une diversité des fonctions et de la biodiversité (Trachte, 2009).

La rénovation doit s'effectuer à deux échelles :

- L'échelle « micro » : amélioration du caractère habitable du bâtiment (basé sur le confort et la santé des occupants), et cela concerne également les performances énergétiques et environnementales
- L'échelle « macro » : qui considère le bâtiment dans son environnement global de manière à bénéficier des avantages qu'il offre et pour améliorer les aspects lui faisant défaut

La particularité de la rénovation est de partir de quelque chose d'existant, en plus ou moins bon état. Avec la contrainte que des mesures faisant leurs preuves pour des bâtiments neufs, notamment celles touchant à l'architecture, ne peuvent souvent pas être mises en œuvre dans le cadre des rénovations. Mais, la plupart des mesures sont cependant transposables, toutefois leur impact sera différent (souvent plus élevé) car la situation initiale n'est pas la même : plus l'état du bâtiment est mauvais, plus l'impact des rénovations sera significatif (de Meester T., 2009). En revanche, en rénovation, de nouvelles mesures viennent s'ajouter comme celles concernant les ponts thermiques, fréquemment rencontrés dans les anciens bâtiments et qu'il faut solutionner.

Au vue du nombre d'éléments pouvant rentrer en ligne de compte, il faut se fixer certains objectifs énergétiques et durables





avant même d'entreprendre la conception d'un projet de rénovation de logement. Les objectifs dépendront du type de bâtiment à rénover et détermineront l'ampleur des travaux de rénovation. La volonté du concepteur est primordiale car cela permettra ou non (Trachte, 2009) :

- de travailler de manière globale en intégrant d'autres priorités que l'énergie
- de travailler en prenant en compte le contexte existant (environnement, social, économique)
- de rendre acteurs les (futurs) occupants du ou des logements au processus de la rénovation afin de les conscientiser et de les responsabiliser.

La démarche à suivre pour se fixer et atteindre les objectifs et performances souhaités lors d'une rénovation est reprise dans l'organigramme illustré par la Figure1.

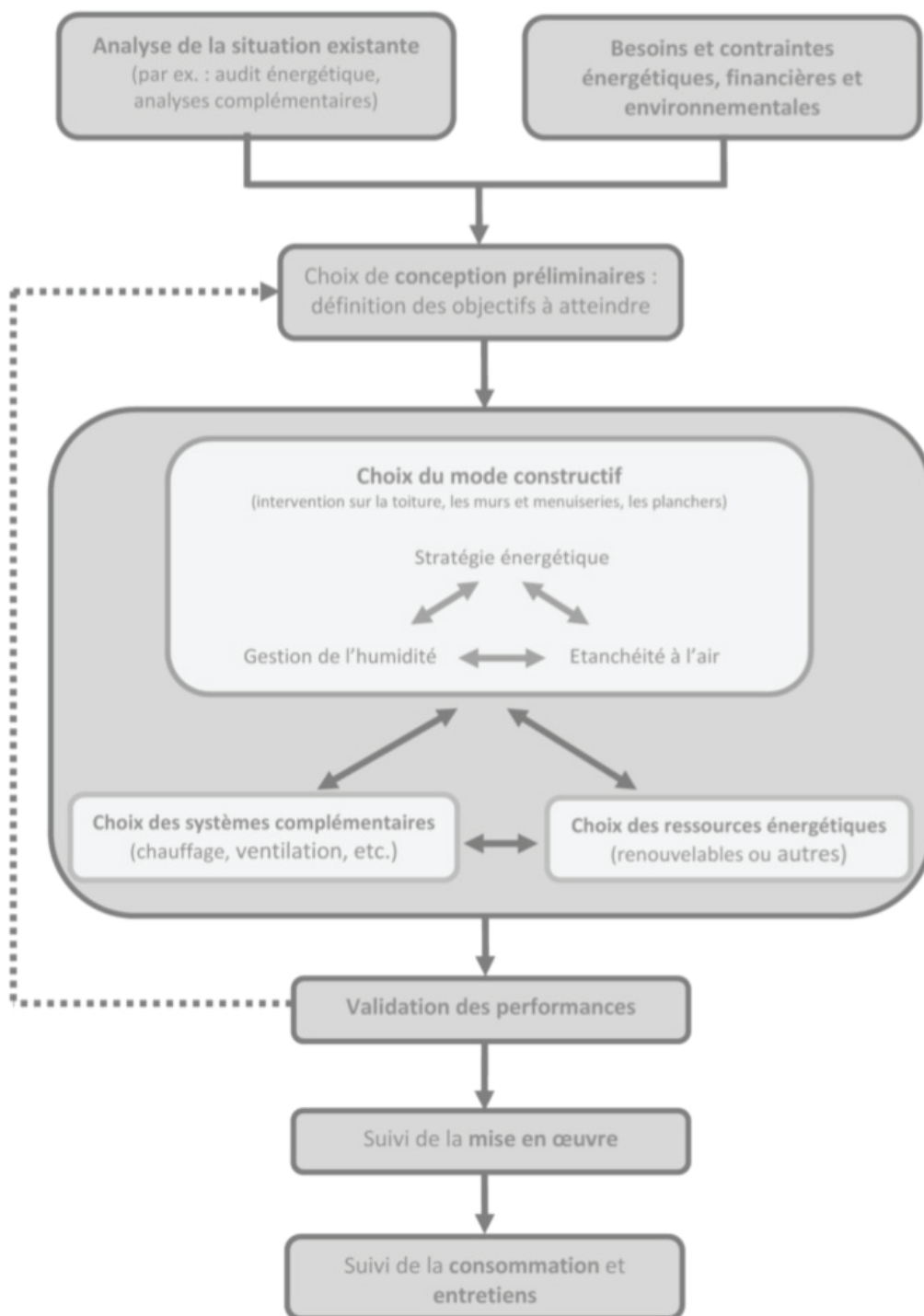


Figure1 : Organigramme d'une rénovation (inspiré par Evrard et al., 2010)



Les audits énergétiques

L'une des premières démarches consiste en la réalisation d'un audit énergétique du bâtiment. Cela consiste en une analyse de l'enveloppe du bâtiment (murs, toitures, châssis, planchers) mais également des systèmes de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire, de la ventilation et éventuellement de la problématique de la surchauffe en été (module optionnel appelé confort d'été) (energie.wallonie.be, 2010).

De cet audit découle un avis qui comprend (energie.wallonie.be, 2010) :

- des informations sur le comportement énergétique de votre habitation présentées sous forme de labels (lettre E à A) pour les différents éléments analysés (enveloppe du bâtiment, ventilation, système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire),
- des propositions d'améliorations directement liées à votre situation accompagnées des économies réalisables,
- des fiches techniques explicatives relatives aux recommandations proposées,
- une information sur la réglementation thermique en Région wallonne,
- un document donnant droit à la réduction d'impôt pour les investissements économiseurs d'énergie,
- une liste de contacts, publications et incitants financiers.

Tous ces documents sont générés par le logiciel PAE qui a été développé sur l'initiative des trois Régions et de l'Etat Fédéral. Notons que seuls les auditeurs agréés par la Région wallonne peuvent réaliser des audits selon la Procédure d'Avis Energétique (energie.wallonie.be, 2010).

Les choix d'interventions

Lors du choix des travaux de rénovation à effectuer, il est préférable de cibler et de phaser les travaux, afin d'atteindre une qualité et une performance élevée plutôt que de disperser l'argent investi dans des demi-mesures. Une des mesures les plus importantes consiste en l'amélioration de l'isolation des parois. Si cela n'est pas encore une pratique courant contrairement à certains de nos pays voisins, on peut constater quelques obstacles comme une surestimation des performances d'isolation des habitations existantes, des obstacles urbanistiques pour l'isolation par l'extérieur, etc.

Il faut avant tout se focaliser sur un travail de conception c'est-à-dire, avant de penser aux systèmes dynamiques (systèmes de ventilations performants, de production d'énergie ou de production d'énergies renouvelables), il faut favoriser les caractéristiques fixes ou passives de l'ordre de la conception qui sont :

- La base pour diminuer de manière importante la demande de chauffage et donc les consommations
- Généralement plus durables car il est rare de refaire des travaux sur l'enveloppe dans les décennies qui suivent la rénovation.



- Moins coûteuses, car mise en œuvre simple, matériaux simples, ...
- A contrario, les technologies associées aux systèmes dynamiques demandent un entretien, une gestion, de l'énergie et elles peuvent « tomber en panne ».

En fonction des choix pris et des réductions de consommation attendue, des systèmes pourront être envisagés ainsi que l'utilisation d'énergies renouvelables. Pour compléter la démarche d'une rénovation durable, l'aspect de l'environnement est à prendre en compte.

Les primes

Beaucoup de primes sont présentes pour encourager la rénovation des bâtiments, tant pour des mesures plus locales que pour des mesures plus globales. Pour plus de renseignements sur les primes : <http://energie.wallonie.be/fr/>



Le projet de rénovation

Repenser l'habitation : la conception

Les quartiers périurbains ont un énorme potentiel de rénovation qui peut facilement, dans la majorité des cas, atteindre de très bons niveaux de performance. La distribution et l'organisation du programme d'une habitation doivent être repensées en fonction de l'orientation et de l'environnement du bâtiment, en privilégiant par exemple les pièces de vie au sud et les services au nord. Il faut cependant observer que, pour les pièces de service telles les cuisines, salle de bain, ... où la température est généralement plus élevée que celle des autres pièces, plus ces pièces se trouvent en contact avec des façades, plus leurs déperditions thermiques seront importantes. La chaleur de ces pièces profitera donc moins aux pièces voisines. Il faut donc trouver un équilibre entre le confort (entre autres visuel) et les économies d'énergie envisageables (de Meester, 2009).

Tout bâtiment sera amené au cours de sa vie à subir des évolutions dans son utilisation, voire des changements radicaux d'affectation. Car les manières de vivre, d'habiter évoluent au même titre que les techniques. La capacité qu'a un bâtiment à s'adapter aux différentes évolutions, est un gage de sa durabilité. Il s'agit d'une démarche durable qui a un moindre coût environnemental (déchets, matières premières, énergies). Afin que le bâtiment puisse s'adapter aux évolutions ou aux innovations tant en matière de performances techniques (chauffage, ventilation, éclairage) que de mode de vie (logements ou résidentiel), il faut développer une certaine neutralité du bâtiment (structure, enveloppe, aménagement intérieur) par rapport aux équipements techniques. La neutralité du bâtiment garantira la capacité à accepter un changement important d'usage. (ex : promouvoir des accès pour les personnes à mobilité réduite permet d'assurer une adaptation du bâtiment aux besoins évolutifs des occupants (accident, vieillissement)). Cela implique l'usage de cloisons légères, de techniques de vissage ou emboîtement, plutôt que les encollages, et





l'emploi de matériaux recyclables. Le mode de construction en préfabrication permet d'améliorer et d'accélérer la mise en œuvre sur chantier.

En rénovation, la construction existante est déjà définie par ses caractéristiques. Il est important de pouvoir les identifier, afin de préserver, accentuer ou minimiser certaines propriétés physiques et dynamiques, comme l'inertie, l'étanchéité, l'isolation, la ventilation, la présence de ponts thermiques. Différentes techniques d'isolation existent et sont pratiquées en Belgique comme la technique de l'isolation par l'extérieur, celle de l'isolation par l'intérieur ou encore celle du remplissage de la coulisse des murs creux (technique moins lourde à réaliser). Ces différentes techniques d'isolation sont développées dans la fiche « La rénovation par l'isolation » (BAT05).

Quelle que soit la performance voulue pour une rénovation, il y a quelques principes de bases à respecter :

- Enveloppe isolée de manière continue, double vitrage performant voir même du triple vitrage
- Enveloppe étanche ce qui demande une certaine exigence dans la finition
- Système de chauffage performant et adapté (autre que la ventilation double flux sauf pour le passif et souvent pour le très basse énergie)
- Réduire au maximum les ponts thermiques même si certains sont encore admissibles

Il y a donc plusieurs niveaux de mesures envisageables. Certaines sont facilement réalisables, d'autres demandent une intervention plus lourde. L'outil SAFE propose des stratégies de rénovation applicables au bâtiment testé. Parmi lesquelles on retrouve celles-ci :

- Favoriser une bonne gestion des consignes de températures
- Améliorer vos vitrages
- Améliorer l'isolation de votre toiture
- Favoriser des systèmes de chauffage non électrique
- Rénover l'enveloppe de son logement

Pour illustrer de manière chiffrée l'impact d'une rénovation, les fiches LEHR (Branders A., 2009) présentent des exemples de rénovations exemplaires.

L'environnement

Afin de répondre à une réflexion globale, l'intégration de l'environnement au projet de rénovation, complète bien celle-ci. L'environnement et l'écologie apporte un regard sur les questions liées à la gestion de l'eau, des matériaux, des déchets, ou encore à la flexibilité du bâtiment. (Trachte S., 2009)



Les matériaux

Pour réaliser une rénovation durable, l'aspect de l'environnement est à prendre en compte par les choix des matériaux mis en œuvre. Sur l'ensemble de leur cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières, en passant par la fabrication, l'assemblage des composants, le transport, la mise en œuvre, l'entretien et le devenir en fin de vie, ces matériaux ainsi que les procédés de construction peuvent avoir un impact important sur l'environnement (Trachte S. et De Herde, 2010). Citons ceux-ci :

- Impact sur la consommation des ressources énergétiques
- Impacts sur la consommation des ressources non énergétiques (matières premières)
- Impacts sur la qualité de l'air extérieur (pollution atmosphérique)
- Impacts sur la modification voir la destruction des paysages et de la biodiversité
- Impacts sur la production de déchets
- Etc.

Les toitures vertes

Une toiture verte est une toiture, plate ou en légère pente, recouverte en surface de végétation disposée sur des couches nécessaires au bon développement de celle-ci. Il existe trois sortes de toitures vertes, selon le type de végétation qu'elle supporte :

- toiture à végétation extensive (applicable en rénovation)
- toiture à végétation intensive peu élaborée (à étudier pour appliquer en rénovation)
- toiture à végétation intensive élaborée (applicable difficilement en rénovation)

Les citernes

Une citerne permet de récolter les eaux des toitures et des autres surfaces imperméables. Elle permet également de jouer un rôle de tampon lors de grosses averses par un système de deux niveaux de trop-pleins, retardant le déversement rapide de grandes quantités d'eau dans les rivières et les égouts, et évitant ou diminuant leurs crues. Cette eau récoltée peut être utilisée dans le bâtiment.

En moyenne, en Belgique, la consommation moyenne en eau s'élève à 115 litres par jour et par personne (source www.vivaqua.be), ou encore 42 m³ par an et par personne (soit 460 litres/par jour pour une famille de 4 personnes). Les citernes permettent 3 options de gestion d'eau :



- Utiliser cette eau pour arroser le jardin, pour les chasses de WC (35% de la consommation moyenne par personne), pour la lessive et pour le nettoyage
- Utiliser l'eau pour tous les usages domestiques : vaisselle, hygiène personnelle,...
- Utiliser l'eau comme eau potable ou en d'autres termes, devenir son propre fournisseur d'eau (La qualité de l'eau potable doit être vérifiée régulièrement par le fournisseur du matériel (suite à un contrat)).

Epuración des eaux

Les quartiers périurbains sont généralement caractérisés par de l'espace ce qui permet ou permettrait de développer des systèmes d'épurations des eaux. Différentes techniques d'épuration individuelle des eaux usées existent :

- Les systèmes intensifs : épuration des eaux usées par oxygénation et intervention mécanique. Ce sont des minis stations d'épuration développées suivant plusieurs techniques : systèmes à biomasse, systèmes à boues activées, systèmes à bio-disques, filtre bactérien aérobie.
- Les systèmes extensifs : épuration des eaux usées par traitement naturel sans intervention mécanique. Ces systèmes, tout en étant aussi performants et adaptés que les systèmes intensifs, présentent des avantages économiques et écologiques car ils participent à l'amélioration des écosystèmes et à l'aménagement des espaces extérieurs tout en responsabilisant l'utilisateur sur sa propre consommation en eau et en produits détergents ou lessiviels (polluants). La technique du lagunage est basée sur la transformation et l'assimilation des eaux usées domestiques (les eaux de pluie sont exclues de ce système d'épuration). Elle permet une dépollution organique et une décontamination microbienne.

Le « rebound effect » ou après la rénovation

Suite à des mesures de réduction énergétiques, la quantité d'énergie réellement économisée est, en pratique, souvent moins élevée que prévu en raison de l'impact des comportements des usagers. C'est ce qu'on appelle le « rebound effect » qui veut que dans le cas d'introduction de nouvelles technologies ou d'amélioration du confort d'un bâtiment, le comportement humain a tendance à consommer proportionnellement davantage que si cet effort d'amélioration de son niveau énergétique n'avait pas été entrepris. Le « rebound effect » pour le chauffage des locaux en Belgique a été évalué en utilisant les données d'une enquête de recensement et vaudrait environ 31% (Cuijpers, 1995). De même, une autre étude fournit la preuve d'un « rebound effect » d'environ 15 à 30% suite à la rénovation de bâtiments (Haas et al., 1998).

Le comportement énergétique des consommateurs est fortement influencé par les prix de l'énergie, et certains habitants sacrifient un bon niveau de confort pour des raisons économiques (Mettetal, 2009). Une part importante du « rebound effect » peut donc être très probablement liée à la réduction de la vulnérabilité énergétique des ménages suite à la rénovation de leur bâtiment.





Illustration : le cas d'une maison 4 façades

Suite à une rénovation de l'enveloppe la diminution de la demande de chauffage peut être considérable. Cela est particulièrement marquant lors d'une rénovation globale ou le niveau d'isolation du bâtiment devient plus performant et où un système de ventilation double flux avec récupérateur de chaleur est intégré (voir aussi la fiche Les systèmes de ventilation (BAT07)).

Ces réductions des consommations sont essentielles à envisager lors du choix de la rénovation car elles influenceront les choix des systèmes complémentaires et des ressources énergétiques. La figure ci-dessous illustre les réductions sur la demande de chauffage faites lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre plus performant dans le cas d'une maison 4 façades. Sept différents niveaux de performances sont pris en considération au travers d'un bâtiment non isolé (NI), de ce même bâtiment avec 3 cm d'isolation en moyenne (3cm) et avec 6 cm d'isolation en moyenne (6cm) fonctionnant tous les 3 avec un système de ventilation naturelle ; de ce même bâtiment au standard belge actuel (SA) et au standard de rénovation basse énergie (BE) (tous deux avec un système de ventilation C) et de ce bâtiment au standard de rénovation très basse énergie (TBE) et au standard passif (SP) (tous deux munis d'un système de ventilation de type D avec récupérateur de chaleur). Notons que les consignes de thermostat sont de 20 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 16 °C durant la nuit.

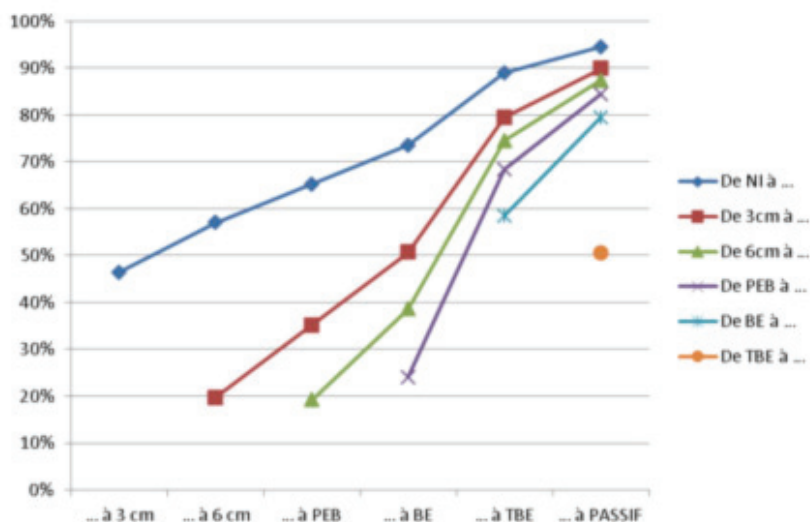


Figure 2 : Illustration des réductions de la demande de chaleur (en %) réalisées lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre dans le cas d'une maison 4 façades.



Conclusion

Il y a beaucoup de manières d'entreprendre une rénovation. Celle-ci peut être globale et concerner l'enveloppe totale du bâtiment, ses systèmes et ressources et son environnement ou encore locale et cibler de plus petites mesures comme l'isolation du toit, du plancher ou encore l'amélioration des vitrages. La meilleure méthode réside cependant dans la réalisation d'un audit énergétique qui propose des améliorations directement liées à la situation du bâtiment. Ces propositions sont accompagnées des économies réalisables et documentées de fiches techniques explicatives relatives aux recommandations proposées.



Références

- Branders A. [2009]. Fiches réalisée dans le cadre du projet LEHR - Low Energy Housing Retrofit, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain, financé par la Politique Scientifique Fédérale, dans le cadre du « Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique », www.lehr.be, 2009.
- Cuijpers C. [1995]. A joint model of household space heat production and consumption: empirical evidence from Belgian micro-data survey. Proc. 18th IAEE Int. Conf., Washington (USA).
- de Meester T. [2009]. Guide de la rénovation basse énergie des logements en Belgique. LEHR, Low Energy Housing Retrofit- Low Energy Housing Retrofit, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain, financé par la Politique Scientifique Fédérale, dans le cadre du « Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique », www.lehr.be, 2009.
- Evrard A., A. Branders, A. De Herde [2010]. Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques pleines, dans le cadre de la recherche ISOLIN, financée par le département Énergie et Bâtiment durable du Service Public de Wallonie, Architecture et Climat, juillet 2010
- Haas R., Auer H., Biermayr P. [1998]. The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating. Energy and buildings 27 : 195-205.
- Mettetal L. [2009]. La question énergétique dans l'habitat privé : le profil déterminant des ménages, Note rapide, n°476, IAU Ile-de-France, juin 2009.
- Mettetal L. [2009]. Les pratiques énergétiques des ménages du périurbain, Note rapide, n° 492, IAU Ile-de-France, novembre 2009.
- <http://energie.wallonie.be>, mars 2010
- Trachte S. et De Herde A. [2010]. Choix des matériaux, écobilan de parois, Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie, Architecture et Climat – UCL, financé par Service Public Wallonie DG04 Dépar-





tement de l'Energie et du Bâtiment durable, 2010.

- TRACHTE S. [2009]. Advanced housing renovation with solar and conservation, IEA SHC TASK 37, SUBTASK D environmental, impact, assessment, Architecture et climat, Université Catholique de Louvain, 2009



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier :

- SAFE.BAT04 : L'amélioration des ouvertures (fenêtres et portes)
- SAFE.BAT05 : La rénovation par l'isolation
- SAFE.BAT06 : L'impact du comportement des occupants
- SAFE.BAT07 : Les systèmes de ventilation
- SAFE.BAT08 : Les systèmes et énergies renouvelables

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lema.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be



Auteurs de la fiche

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain

T. de Meester et Prof. A. De Herde

Place du Levant, 1

1348 Louvain-La-Neuve

Tatiana.demeester@uclouvain.be

+32 10 47 23 34

<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public, architecte,
promoteur



Général, bâtiment, rénovation,
ouverture, fenêtre, éclairage



SAFE.BAT04

L'amélioration des ouvertures ou la valorisation des sources lumineuses



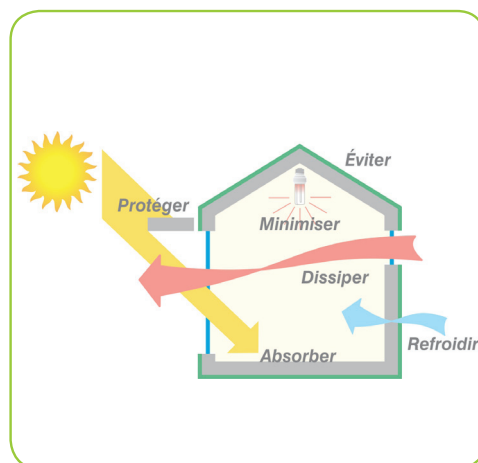
Les points principaux

- Cette fiche explore l'impact du milieu sur les ouvertures, fait ressortir des avantages d'une construction bioclimatique et l'intérêt pour une ventilation contrôlée.
- L'éclairage naturel est à privilégier et l'éclairage artificiel doit compléter celui-ci en s'adaptant aux locaux et à d'éventuelles tâches ponctuelles.
- La rénovation est l'occasion de repenser les ouvertures, les châssis et leurs vitrages en fonction de l'orientation, de l'exposition au vent, du local, etc.



Résumé

Une rénovation durable va de pair avec une conception soucieuse des économies d'énergie et du bien-être de ses occupants. Dans cette optique, la valorisation des sources lumineuses doit accompagner cette démarche de rénovation. Comme la lumière naturelle est celle qui amène le plus de confort à l'occupant, l'éclairage naturel des espaces doit être favorisé à la lumière artificielle prévue pour le compléter en cas d'insuffisance et lorsque le soleil est couché. La rénovation est aussi une occasion de modifier les baies existantes, les châssis, les vitrages, d'ajouter des protections solaires, ... La conception des fenêtres doit se faire en fonction du milieu où s'implante le bâtiment : orientation, pourcentage d'ouverture des baies, exposition au vent, etc. doivent être pris en compte.



Principes généraux d'une conception bioclimatique en symbiose avec son environnement (Illustration J. Flémal)

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Avril 2012



L'amélioration des ouvertures ou la valorisation des sources lumineuses

Une rénovation durable va de pair avec une conception soucieuse des économies d'énergie et du bien-être de ses occupants. Dans cette optique, la valorisation des sources lumineuses doit accompagner cette démarche de rénovation. Comme la lumière naturelle est celle qui amène le plus de confort à l'occupant, l'éclairage naturel des espaces doit être favorisé à la lumière artificielle qui elle, est prévue pour le compléter en cas d'insuffisance et lorsque le soleil est couché. La rénovation est l'occasion de modifier les baies existantes, les châssis, les vitrages, d'ajouter des protections solaires, d'adapter les ouvertures au milieu environnant...



La valorisation des sources lumineuses

L'éclairage naturel

La lumière naturelle est celle qui amène le plus de confort à l'occupant, l'éclairage naturel des espaces doit être favorisé à la lumière artificielle qui elle, est prévue pour le compléter en cas d'insuffisance et lorsque le soleil est couché. La présence d'obstacles va fortement influencer la quantité de lumière naturelle dans un local. L'architecte peut intervenir à certains niveaux afin de réduire les surfaces de châssis (châssis fixes, sans divisions, ...), éviter toute obstruction par des tentures, store, etc., préférer des protections solaires mobiles et même réglables pour éviter la réduction de l'éclairage naturel en dehors des périodes de risque de surchauffe, etc. L'occupant, lui, intervient afin d'éviter l'obstruction par des objets, plantes vertes, ... placés devant les fenêtres ou encore en nettoyant régulièrement les vitres (Massart C. et al. 2010). Pour garantir un niveau d'éclairement naturel intéressant dans une chambre, il faut une surface nette éclairante équivalente à 15-20 % de la superficie nette de la pièce, si la fenêtre est idéalement orientée.

Les ouvertures ont une influence sur les gains solaires. L'orientation des fenêtres vers le sud est thermiquement plus intéressante en raison des gains solaires importants réalisés pendant la saison de chauffe. Le tableau ci-dessous (Tableau 1) reprend les pourcentages de surface vitrée recommandés en fonction de leur orientation.





Tableau1 : Pourcentage de surface vitrée recommandé en fonction de l'orientation (Trachte S., 2009)

Orientation	Pourcentage de surface vitrée recommandé par rapport à la surface du local
Sud	> 15% Les protections solaires sont nécessaires lorsqu'on dépasse les 18%
Ouest	entre 10% et 18%
Est	entre 10% et 18%
Nord	entre 10% et 18%

L'éclairage artificiel

Un éclairage adapté est nécessaire pour chaque pièce d'une habitation et dépendra de sa fonction. Il existe énormément de types d'éclairage propres aux différents locaux et aux différentes tâches visuelles. Les puissances d'éclairage dépendent fortement du type de lampe et de luminaire, des dimensions du local, de la couleur des murs et plafonds ainsi que du mobilier. (Roisin B. et al., 2011)

Le but d'un éclairage efficace est de pouvoir agir sur la gestion différenciée des points lumineux en fonction de l'usage des locaux et de la disponibilité de la lumière naturelle. Cela peut permettre de gérer de manière distincte l'éclairage d'ambiance de l'éclairage de la tâche ou d'intégrer la gestion en fonction de la lumière naturelle. Ceci est évident lors d'une nouvelle installation d'éclairage mais ce n'est pas toujours possible en rénovation. (Roisin B. et al., 2011)

Cependant, il existe tout une série de solutions envisageables pour améliorer tant l'efficacité énergétique, que le confort visuel d'une installation d'éclairage existante comme le remplacement des lampes et des luminaires. Le remplacement des lampes, intervention facile à réaliser, n'a qu'un impact limité sur l'installation existante et qui n'implique pas de coûts trop importants. Le remplacement des lampes choisies par de plus efficaces permet d'améliorer l'efficacité lumineuse de l'installation de manière plus ou moins importante. De cette manière, il est également possible d'augmenter le niveau d'éclairement en utilisant des lampes fournissant un flux lumineux plus élevé que les lampes initiales. Dans ce cas, le gain énergétique est alors bien évidemment moins important mais il s'accompagnera d'un gain en confort. (Roisin B. et al., 2011)

Par exemple, l'utilisation de lampes fluocompactes à tubes nus sera conseillée pour le remplacement de lampes incandescentes dans lesquels la lampe est dissimulée par un cache opalin. La lampe incandescente sera remplacée par une lampe fluocompacte ayant une puissance avoisinant le quart de celle de la lampe incandescente remplacée.

Le tableau ci-dessous reprend les puissances des lampes incandescentes généralement utilisées dans les applications résidentielles ainsi que les puissances des lampes fluocompactes à utiliser lors du remplacement. Les gains énergétiques et financiers sont calculés à raison d'une utilisation de 1.000 heures par an (soit un peu moins de 3 heures de fonctionnement par jour) et d'un



coût du kWh de 17 centimes d'euros. L'achat d'une lampe énergétiquement efficace de qualité est ainsi rentabilisé à peu près en une année, sur base d'un coût de 8 à 9 €. (Roisin B. et al., 2011)

Tableau 2 : Le remplacement des lampes incandescentes par des fluocompactes : comparaison de leurs puissances
(Roisin B. et al., 2011)

Puissance avant remplacement	Puissance après remplacement	Gains énergétiques (1.000h par an)	Gains financiers par an (0,17€ par kWh)
100 W	23 W	77 kWh	13,1 €
75 W	18 W	57 kWh	9,7 €
60 W	15 W	45 kWh	7,7 €
40 W	10 W	30 kWh	5,1 €

Lorsque les luminaires possèdent une lampe incandescente visible et/ou de forme particulière (lampes flammes, etc.), il est possible de trouver sur le marché des lampes fluocompactes ayant un globe reproduisant la forme de la lampe fluorescente (pour obtenir la puissance équivalente à installer, la puissance sera toujours divisée par 4).

Les torchères halogènes indirectes sont munies de lampes halogènes ayant une mauvaise efficacité lumineuse et, d'autre part, elles assurent un éclairage de type indirect ce qui induit d'importantes pertes lumineuses. Ce sont des luminaires, munis de lampes de grandes puissances (entre 300 et 500 W) qui sont parmi les plus énergivores et qui doivent être bannis. Exemple : pour une heure de fonctionnement par jour d'un luminaire de ce type, la facture énergétique s'élève à 31 € par an ! (Roisin B. et al., 2011)

Lors du remplacement de luminaires par des luminaires énergétiquement efficaces, les éclairagements conseillés sont détaillés via leurs puissances dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Puissance conseillée par pièce pour une installation munie de luminaires efficaces (Roisin B. et al., 2011)

Pièce et activité	Puissance conseillée [W/m²]
Hall d'entrée, couloirs et escaliers	2 - 3
Toilettes	6 - 10
Salle de bain	6 - 9
Cuisine	6 - 12
Séjour, salon	3 - 6
Salle à manger	3 - 5
Chambres	3 - 5
Buanderies, débarras, caves, garage, etc.	2 - 3



Des luminaires avec interrupteurs intégrés sont intéressants lorsqu'un éclairage spécifique d'une tâche et un éclairage séparé sont préconisés (pour le luminaire placé au-dessus du plan de travail de la cuisine par exemple). L'utilisation de luminaires intégrant un système de détection de présence intégré au luminaire est une solution intéressante dans certaines situations (couloirs, cabinet de toilette, etc.). (Roisin B. et al., 2011)



La rénovation des ouvertures

Lors de la rénovation d'un bâtiment par l'ajout d'isolation, les ouvertures doivent s'adapter et contenir l'isolant afin que celui-ci soit appliqué de manière continue (Figure 1). La rénovation est aussi une occasion de modifier les baies existantes (Figure 2), car les ouvertures ont une influence sur les gains solaires. L'orientation des fenêtres vers le sud est thermiquement plus intéressante en raison des gains solaires importants réalisés pendant la saison de chauffe.

Deux options s'offrent pour le traitement de la rénovation des ouvertures comme :

- La modification de baies existantes,
- La conservation de la baie existante.



Figure 1 : L'isolation doit être placée de manière continue afin d'éviter tout pont thermique (Photo : A. Branders)



Figure 2 : Modification d'une baie existante lors d'une rénovation (Photo : A. Branders)



Dans ces deux cas, la question du châssis et du vitrage se pose. De manière générale, le châssis doit être posé dans le plan de l'isolation ou au plus près avec un retour de l'isolant dans l'embrasure de la fenêtre jusqu'au châssis (Figure 3).

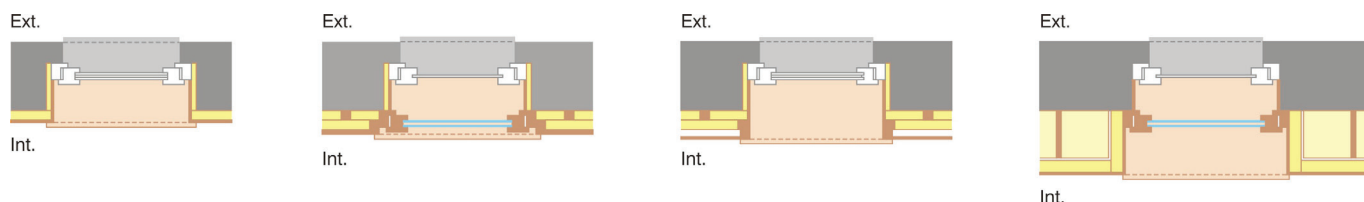


Figure 3 : Pose du châssis dans le plan de l'isolation ou au plus près avec un retour de l'isolant dans l'embrasure de la fenêtre jusqu'à celui-ci

La rénovation du vitrage et/ou du châssis est illustrée par la Figure 4. Plusieurs techniques de rénovation de fenêtres sont possibles :

- Conserver les châssis existants en les modifiant éventuellement, et intervenir sur le vitrage (remplacement du vitrage ou pose de survitrage),
- Remplacer le châssis avec le vitrage (favoriser le placement de double vitrage),
- Doubler le châssis existant par un double vitrage ce qui permet une amélioration tant énergétique qu'acoustique (avantages : les performances thermiques et acoustiques sont très élevées et le caractère de la façade est conservé).

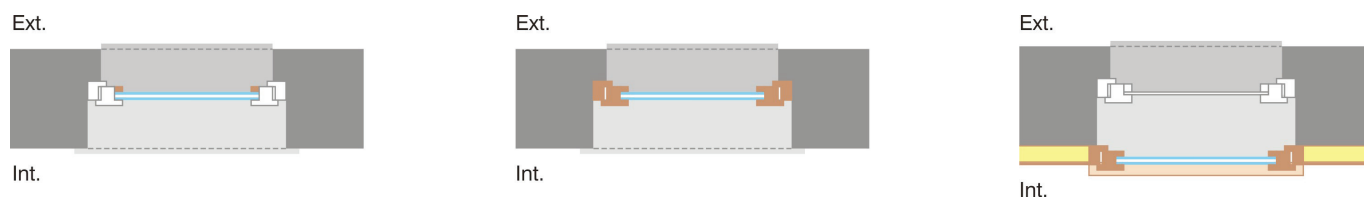


Figure 4 : Techniques de rénovation de fenêtres par remplacement du vitrage ou pose de survitrage, par remplacement du châssis et du vitrage et en doublant le châssis existant par un double vitrage

Des protections solaires peuvent être ajoutées en cas de rénovation. Les protections solaires permettent de lutter contre les surchauffes en été et contre d'éventuels éblouissements. Elles ne seront indispensables que pour les bâtiments passifs. Il en existe de plusieurs types : les systèmes mobiles (volets roulants ou coulissants, stores, lames orientables,...), les protections solaires externes fixes ou permanentes (de types auvents, vitrages spéciaux,...), les protections solaires placées à l'intérieur et celles de type végétal.

Il est essentiel d'assurer une bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe des bâtiments. Les infiltrations d'air dans le bâtiment essentiellement dues à des points faibles de l'enveloppe doivent être limitées (Voir la fiche La rénovation par l'isolation : un des choix les plus porteurs en terme d'économies d'énergie (SAFE.BAT05)). Or les ouvertures peuvent représenter des points faibles et afin d'assurer, une qualité de l'étanchéité à l'air, plusieurs éléments peuvent être améliorés comme la trappe de fermeture des conduits de fumée de cheminée à foyer ouvert et de hotte de cuisine ainsi que les trappes sur les combles, les portes d'entrée (éviter de la placer sur la façade exposée au vent dominant, intérêt de prévoir un sas, proscrire chatière et boîte aux lettres dans l'entrée, etc.),....



Les influences du milieu sur les ouvertures : illustrations à travers des résultats de simulations

L'influence des gains solaires

Plus une habitation sera isolée, plus les gains internes et les gains solaires joueront un rôle important. Il est difficile de comparer des habitations entre elles tellement il y a de paramètres qui varient notamment ces gains internes et solaires. Cette approche permettra une meilleure compréhension des enjeux énergétiques des bâtiments bioclimatique par l'analyse de plusieurs bâtiments représentatifs du bâti existant qui ont été conçus sans tenir compte de leur implantation.

La Figure 5 illustre les différents gains solaires en kWh/m²an (durant la période de chauffe du 1er octobre au 1er mai) pour 8 bâtiments étudiés. On peut observer que les gains solaires sont assez différents dans chaque bâtiment. Cependant, les 3 premiers bâtiments sont identiques (mêmes tailles, mêmes dimensions de fenêtres, mêmes gains internes, etc.). Ils ne varient que par leur orientation et leur implantation (et la seule différence entre le 2ème et le 3ème cas est que le 3ème se trouve derrière une forêt). Le premier des trois est mieux exposé que les 2 suivants et même si ce bâtiment n'a pas été conçu selon les principes du bioclimatisme, la différence de gains est déjà bien visible. On remarque l'impact d'un obstacle (ici une forêt), source d'ombre (notons que cette forêt est au SO et à l'arrière du bâtiment). Il est donc essentiel de ne pas négliger les potentiels apports solaires d'autant plus qu'une mauvaise orientation rend certains standards assez difficiles à atteindre.

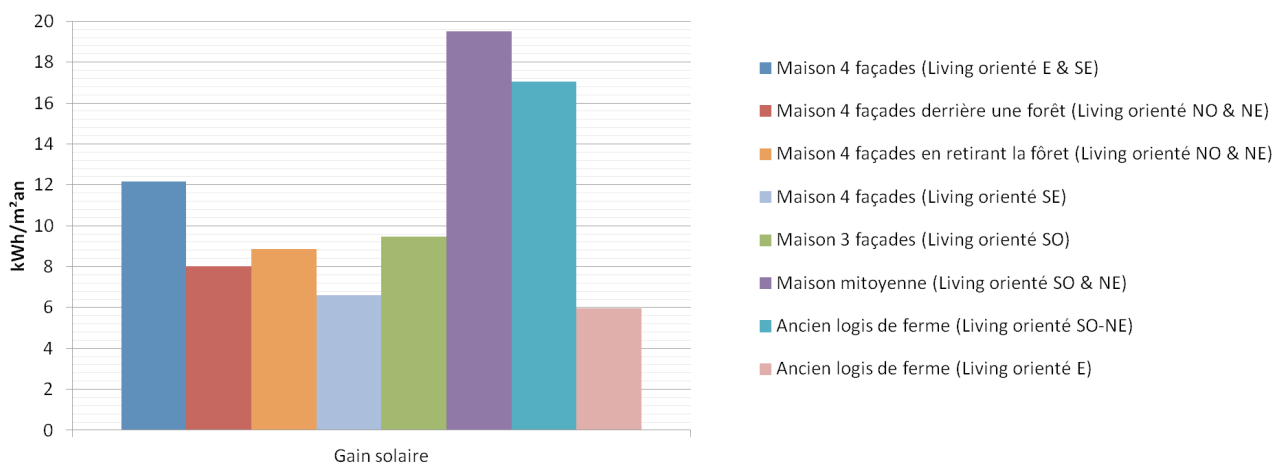


Figure 5 : Apport des gains solaires (en kWh/m²an) durant la période de chauffe pour 8 cas étudiés

Confronter ces apports solaires à la demande de chaleur donne une idée plus concrète de cet impact : le 2ème bâtiment, s'il est non isolé, a un besoin net annuel de 6.8% plus élevé que le premier (soit une différence de 13.14 kWh/m²an) et si ce 2ème bâtiment a 6 cm d'isolation en moyenne dans les parois, le besoin net devient 13.66% plus élevé (soit une différence de 12.26 kWh/m²an). Bien sûr, il faut être conscients qu'à certains moments, ces différents gains peuvent agir en surplus et peuvent être à la base de surchauffes.

Le potentiel de ces gains solaires dépend en partie du pourcentage d'ouverture des parois. La Figure 6 illustre l'impact entre les gains solaires de 6 bâtiments analysés dans la figure précédente en fonction du pourcentage d'ouvertures de leurs parois. Les trois premiers bâtiments, identiques, apparaissent donc sur la même verticale mais propose des apports différents ce qui souligne l'impact de leur implantation.

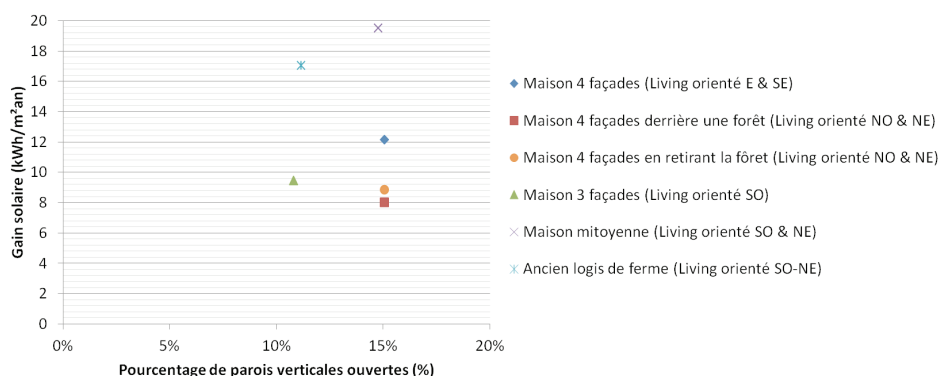


Figure 6 : Impact des gains solaires en fonction du pourcentage d'ouvertures des parois pour 6 habitations

Impact de l'ouverture des fenêtres

Le renouvellement de l'air via une aération régulière des fenêtres est essentiel pour conserver un confort respiratoire de qualité. Bien évidemment cela engendre des pertes par ventilation ce qui induit une hausse de la demande de chaleur. Ces pertes sont fonction de la taille des ouvertures des fenêtres, du temps d'aération, du vent, etc. Le tableau ci-dessous illustre pour une maison 4 façades l'impact sur les demandes annuelles de chauffage qu'entraîne l'ouverture des fenêtres pourtant essentielles à une bonne hygiène respiratoire.

Tableau 4 : Réductions des demandes annuelles de chauffage (en % et en kWh/m².an) entre une situation avec ouverture des fenêtres 1h par jour et une autre situation plus théorique qui supposerait que les fenêtres restent fermées.

		NI	3 cm	6 cm	SA
Réduction des demandes	%	14.13%	26.37%	32.80%	42.65%
Différences entre les demandes	kWh/m².an	25.46	25.44	25.42	25.39

Plus le bâtiment est isolé, plus l'impact est proportionnellement important. Cela démontre clairement l'intérêt des systèmes de ventilation D avec récupérateur de chaleur, pour garantir une très bonne qualité de l'air tout en minimisant les pertes de chaleur (voir fiche Les systèmes de ventilation hygiénique (SAFE.BAT07)). Le débit d'air neuf issu de cette ouverture journalière des fenêtres dépend entre autres du vent.



L'impact du vent lors de l'ouverture des fenêtres

Le vent a également un impact lors de l'ouverture de fenêtre qui est illustré dans le tableau ci-dessous. Ce tableau présente les réductions des demandes de chauffages annuelles en % et leurs différences en kWh/m²an entre un cas, exposé « normalement » au vent et, ce même cas mais, mis à l'abri du vent. Ces cas ont été simulés à 7 niveaux de performances de l'enveloppe (Bâtiment non isolé [NI], Bâtiment avec 3cm d'isolation en moyenne dans les parois (dans les murs, toit et dalle de sol) [3cm], Bâtiment avec 6cm d'isolation en moyenne dans les parois (dans les murs, toit et dalle de sol) [6cm], Bâtiment correspondant au standard belge actuel [SA], Bâtiment au standard de rénovation basse énergie [BE], Bâtiment au standard de rénovation très basse énergie [TBE], Bâtiment au standard maison passive [SP]). Le système de ventilation est en mode de fonctionnement « A » consistant en une ouverture des fenêtres 1h par jour. Ceci est purement illustratif pour les cas BE, TBE ou encore SP qui de ce fait n'atteindront plus leur standard puisqu'ils sont modélisés pour fonctionner avec un système de ventilation mécanique. De nouveau, plus le bâtiment est isolé, plus l'impact est proportionnellement important. Les cas repris dans le tableau ont été simulés avec deux fichiers météo différents : l'un correspondant à un climat d'Uccle et l'autre de Saint-Hubert. Concevoir un bâtiment à l'abri du vent va clairement diminuer l'impact du vent sur la demande de chauffage pour autant que les apports solaires ne soient pas également diminués ! Le climat St-Hubert même s'il implique de plus grandes différences en terme de kWh/m²an n'est proportionnellement pas plus marqué par le vent.

Tableau 5 : Réductions des demandes de chauffages annuelles en % et différences entre ces demandes en kWh/m²an entre une maison 4 façades, exposée « normalement » au vent et, cette même maison, mise à l'abri du vent pour 7 niveaux de performances de l'enveloppe

		NI	3 cm	6 cm	SA (syst A)	BE (syst A)	TBE (syst A)	SP (syst A)
Climat Uccle	%	4.55	8.50	10.57	13.77	18.40	22.80	26.50
	kWh/m ² an	8.19	8.2	8.19	8.2	8.19	8.17	8.18
Climat St-Hubert	%	4.26	7.84	9.70	12.53	16.32	19.90	22.89
	kWh/m ² an	10.35	10.34	10.35	10.35	10.35	10.36	10.36

L'impact de la qualité des vitrages

Si les ouvertures sont essentielles au confort visuel, il est impératif de privilégier un vitrage efficace. La figure ci-dessous illustre les réductions sur la demande de chauffage d'une maison 4 façades lors du passage d'un type de vitrage à un autre plus performant en fonction du niveau d'isolation de l'enveloppe. Trois rénovations de vitrages sont analysées :

- d'un simple vitrage [SV] à un double vitrage ancien [DVA] (courbe bleue)
- d'un simple vitrage [SV] à un double vitrage performant [DVP] (courbe rouge)
- d'un double vitrage ancien [DVA] à un double vitrage performant [DVP] (courbe verte)



En fonction de 6 niveaux d'isolation de l'enveloppe :

- Bâtiment non isolé [NI],
- Bâtiment sans isolation dans les murs et dalle de sol mais avec 16 cm d'isolation dans le toit [NI - Toit 16cm],
- Bâtiment avec 3cm d'isolation en moyenne dans les parois (murs, toit et dalle de sol) [3cm],
- Bâtiment avec 3cm d'isolation dans les murs et dalle de sol et 16 cm dans le toit [3cm - Toit 16cm],
- Bâtiment avec 6cm d'isolation en moyenne dans les parois (murs, toit et dalle de sol) [6cm],
- Bâtiment avec 6cm d'isolation dans les murs et dalle de sol et 16 cm dans le toit [6cm - Toit 16cm].

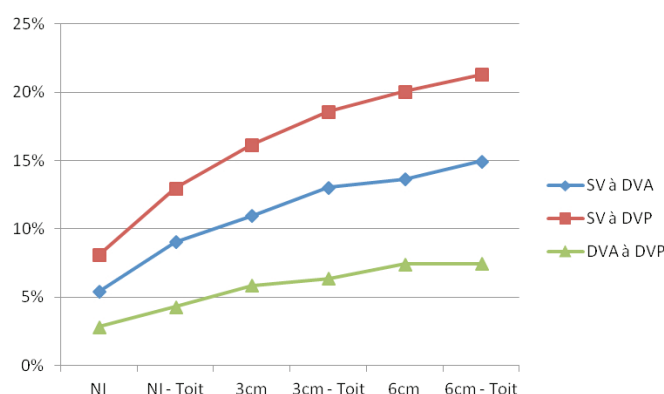


Figure 7 : Réductions sur la demande de chauffage d'une maison 4 façades lors du passage d'un type de vitrage à un autre plus performant en fonction du niveau d'isolation de l'enveloppe

Changer les vitrages est une démarche facile à réaliser et efficace surtout s'il s'agit de passer d'un simple vitrage à un double vitrage performant. Plus le bâtiment est isolé, plus cet effet sera important sur les réductions de demande de chauffage.

Conclusion

La conception des ouvertures d'un bâtiment doit se faire en tenant compte du milieu dans lequel il se trouve. Une rénovation peut être l'occasion de concevoir à nouveau les ouvertures du bâtiment car il est essentiel de valoriser les sources lumineuses comme la lumière naturelle qui amène le plus de confort à l'occupant. L'éclairage artificiel qui vient en complément doit être adapté en fonction des locaux et de la disponibilité de la lumière naturelle. Cet éclairage naturel des espaces peut être repensé lors de rénovations qui sont l'occasion de reconsidérer ces ouvertures et d'éventuellement modifier les baies existantes pour tenir compte des gains solaires, de l'exposition au vent, etc. Les ouvertures doivent s'adapter et contenir l'isolant afin que celui-ci soit appliqué de manière continue et le changement des vitrages et/ou des châssis est intéressant s'ils sont peu performants afin de réduire les pertes par transmission et d'augmenter l'étanchéité à l'air du bâtiment.



Références

- Massart C., De Herde A. [2010]. Conception de maisons neuves durables, Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie, Architecture et Climat – UCL, financé par Service Public Wallonie DG04 Département de l'Energie et du Bâtiment durable, 2010.
- Roisin B. et al. [2010]. Guide pratique et technique à l'éclairage résidentiel, projet de recherche ECLOS soutenu via le programme Minergibat du Service public de Wallonie, B. Roisin, A. Deneyer, M. Bodart, P. D'Herdt, B. Deroisy, J. Deltour, Collaboration entre Architecture et Climat de l'Université Catholique de Louvain et la Division Energie et Climat du Centre Scientifique et Technique de la Construction, 2011
- TRACHTE S. [2009]. Advanced housing renovation with solar and conservation, IEA SHC TASK 37, SUBTASK D environmental, impact, assessment, Architecture et climat, Université Catholique de Louvain, 2009



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier :

- SAFE.BAT03 : La rénovation : quelles démarches suivre?
- SAFE.BAT05 : La rénovation par l'isolation : un des choix les plus porteurs en terme d'économies d'énergie
- SAFE.BAT07 : Les systèmes de ventilation

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lema.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public, architecte,
promoteur



Général, bâtiment, rénovation,
ouverture, fenêtre, éclairage



Auteurs de la fiche

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain

T. de Meester et Prof. A. De Herde

Place du Levant, 1

1348 Louvain-La-Neuve

Tatiana.demeester@uclouvain.be

+32 10 47 23 34

<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public



Général, bâtiment, rénovation



SAFE.BAT05

La rénovation par l'isolation : un des choix les plus porteurs en terme d'économies d'énergie



Les points principaux

- Trois différentes techniques d'isolation appliquées en rénovation sont présentées : l'isolation par l'extérieur, par l'intérieur et par le remplissage de la coulisse, dans le cas de murs creux.
- La rénovation de l'enveloppe permet des réductions de consommation de chauffage plus importantes que celle de simples mesures, par son approche globale qui assure plus facilement : la continuité de l'isolation, une diminution des ponts thermiques, l'étanchéité à l'air et l'introduction de systèmes performants.
- Les potentiels de réductions des demandes de chauffage suite à des améliorations globales et locales de l'isolation sont illustrés au moyen de résultats de simulation.



Résumé

La rénovation d'un bâtiment par l'ajout d'isolation au niveau de ses parois consiste en l'un des choix les plus porteurs en terme d'économies d'énergie ! Cette démarche est également une des plus durables car elle permet une diminution de la consommation énergétique. Or 64 % des bâtiments en Région wallonne ne sont pas du tout isolés et vu les surfaces en contact avec l'extérieur, les murs d'un bâtiment représentent l'endroit principal des déperditions thermiques de l'enveloppe. Cette fiche aborde les différentes techniques d'isolation appliquée en rénovation à savoir l'isolation par l'extérieur, par l'intérieur et par le remplissage de la coulisse, dans le cas de murs creux. Elle met également en avant leurs avantages et inconvénients, des erreurs à ne pas commettre en rénovation ainsi que des points importants à ne pas négliger.



Travaux d'isolation par l'extérieur d'une façade sur le parement existant © Photo : A. Branders

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4, programme mobilisateur energywall

Avril 2012



La rénovation par l'isolation

La rénovation d'un bâtiment par l'ajout d'isolation dans ses parois consiste en l'un des choix les plus porteurs en terme d'économies d'énergie ! Bien que les travaux peuvent en rebuter plusieurs, l'amélioration des performances de l'enveloppe du bâtiment est très clairement avantageuse. Cette démarche est également une des plus durables car elle permet une diminution de la consommation énergétique.



L'isolation des bâtiments en Région wallonne

L'étude de C. Kints (Kints, 2008) donne un bon aperçu de la situation énergétique des bâtiments en Région wallonne. Il en ressort que 64.10% de bâtiments ne sont pas isolés, 7% ont une isolation partielle et 28.90% ont une isolation totale. Les bâtiments possédant de l'isolation (soit 35.90%) peuvent être répartis comme suit :

- 18% avec 1-3cm
- 38% avec 4-6cm
- 16% avec 7-10 cm
- 28% inconnu

En rénovation, la construction existante est déjà définie par ses caractéristiques. Il est important de pouvoir les identifier, afin de préserver, accentuer ou minimiser certaines propriétés physiques et dynamiques, comme l'inertie, l'étanchéité, l'isolation, la ventilation, la présence de ponts thermiques.



L'isolation des parois

Au cours du siècle dernier, la composition des murs extérieurs a fortement évolué : les murs « traditionnels » sont souvent constitués de matériaux massifs, épais et c'est après 1945, que ce fera la généralisation des « murs creux ». Ceux-ci dissocient les fonctions porteuses et de protection contre les intempéries. L'isolation de la coulisse de ces murs creux se généralisera suite aux premières crises énergétiques (Kints, 2008).

Les murs des habitations de par leur surface en contact avec l'extérieur représentent l'endroit principal des déperditions thermiques du bâtiment, appelé pertes par transmission. L'isolation va donc jouer un rôle primordial pour améliorer les performances de l'enveloppe du bâtiment. Elle va permettre d'augmenter le confort thermique de l'occupant, été comme hiver, de limiter les déperditions thermiques des parois du logement et donc de limiter la demande en énergie (chauffage ou climatisation).

L'idée est de mettre en place une isolation suffisante qui dépendra du niveau de performance souhaité lors de la rénovation tout en veillant à une continuité de l'isolant (sol, mur, toiture) lors de son placement et à supprimer ou minimiser les ponts thermiques.

L'isolation du bâtiment peut être envisagée de deux manières différentes : soit l'isolation de l'enveloppe du bâtiment soit celle de pièces plus en particulier comme l'illustre la Figure 1.



Figure 1 : L'isolation de l'enveloppe ou d'une partie de celle-ci

Il existe trois techniques d'isolation en rénovation :

- L'isolation de l'enveloppe par l'extérieur,
- L'isolation de l'enveloppe par l'intérieur,
- L'isolation de l'enveloppe par le remplissage de la coulisse, dans le cas de murs creux.

Les avantages et inconvénients de chacune de ces méthodes sont relevés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Les différents modes d'isolation : avantages et inconvénient

Mode	Avantages	Inconvénients
Par l'extérieur	<ul style="list-style-type: none"> • Suppression des risques de ponts thermiques locaux • Protection du mur contre le gel et les fissurations • Protection du mur contre la pénétration de la pluie battante • Amélioration de l'aspect extérieur en cas de revêtement extérieur dégradé • Conservation de l'inertie thermique • Conservation des volumes et des finitions intérieures, pas de désagrément, si les locaux restent habités 	<ul style="list-style-type: none"> • Modification de l'aspect extérieur (demande de permis d'urbanisme) • Solution coûteuse puisqu'elle implique un nouveau parement. • Sur épaisseur, parfois problématique en façade avant, sur le domaine public, et par rapport à l'alignement • Isolations du retour de la baie, seuils remplacés, déplacement des descentes d'eau, parfois adaptation des fondations, etc. • Risque de ponts thermiques à la jonction mur-sol
Par l'intérieur	<ul style="list-style-type: none"> • L'aspect extérieur est conservé (pas de demande de permis d'urbanisme) • Le coût est généralement moins élevé que pour isolation par l'extérieur (pas toujours vrai, car cela dépend du bâtiment...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ponts thermiques délicats à résoudre • Dégradation possible du mur extérieur suite à son refroidissement et son humidification • Risque de pourriture de structures en bois portant dans le mur isolé • Risque de fissuration à la suite des variations thermiques du mur extérieur • Nouvelles finitions intérieures et volumes intérieurs diminués (selon l'épaisseur d'isolant). Difficile à réaliser si les locaux restent occupés. • Révision des installations de chauffage, car risque de gel des conduites dans les murs. • Perte d'une partie de l'inertie thermique • Continuité du pare-vapeur difficile à assurer (risque de condensation interne) • Adaptation des tablettes de fenêtre, des huisseries de fenêtres (s'il y en a...), déplacement des radiateurs, etc.
Par remplissage de la coulisse (mur creux)	<ul style="list-style-type: none"> • Inertie thermique conservée • Technique simple et moins coûteuse que l'isolation par l'extérieur • Ne modifie ni l'aspect extérieur (pas de demande de permis d'urbanisme) ni l'aspect intérieur 	<ul style="list-style-type: none"> • Limite de la valeur isolante possible à obtenir en fonction de l'épaisseur de la coulisse • Risque de ponts thermiques aux interruptions de la coulisse (principalement au niveau des linteaux par exemple) • Refroidissement du mur de parement (dépend de la qualité du parement) • Examen préalable de la coulisse indispensable • Faculté d'assèchement de la paroi extérieure du mur amoindrie

Nous allons détailler et illustrer ces possibilités afin de se rendre compte des exigences de chacune. D'avance il sera très difficile de trancher et de définir le choix à faire pour la rénovation de tel type de bâti. Le cas par cas reste de rigueur et souvent, sur un même cas, différentes techniques y sont appliquées et combinées. Mais d'avance, l'isolation par l'extérieur apparaît clairement comme une solution optimale.

Isolation de l'enveloppe par l'extérieur

Dans ce cas, l'isolant est appliqué soit sur la façade existante, soit le parement de la façade est retiré (gain de place en épaisseur surtout s'il existe un faible vide dans le cas de murs creux). Il est beaucoup plus facile d'assurer la continuité de l'isolation avec cette technique. Avec cette solution, il ne faut pas trop hésiter quant à l'épaisseur de l'isolant. Généralement, l'isolant est recouvert d'un enduit servant de nouveau parement. Il est toujours possible de remettre un parement en brique ou autre (Voir Figure2). Il faut privilégier cette technique d'isolation qui vaut pour les façades non liées à la conservation du patrimoine ni à celles sujettes aux alignements (sauf si la commune est sensible aux aspects énergétiques ou si la zone de recul est dans le domaine privé (jardinet à rue)), ... (énergie+, 2010 et de Meester, 2009)



Figure2 : Isolation par l'extérieur directement sur le parement existant (Photo : A. Branders)

Isolation de l'enveloppe par l'intérieur

L'isolation par l'intérieur n'est à envisager que lorsqu'un autre choix n'est pas possible. Dans certains cas, la conservation de certaines caractéristiques architecturales existantes (dessin de façades, matériaux, frises, moulures) demandera une isolation par l'intérieur vu les possibles difficultés à être traité par l'extérieur (Figure 4).

L'isolation par l'intérieur est souvent la seule solution lorsqu'un alignement de façade est exigé. Or en isolant par l'intérieur, le mur n'est plus réchauffé par l'intérieur et par ce fait, si la vapeur d'eau n'est pas stoppée par un pare-vapeur, elle va condenser sur le mur froid. La résolution des ponts thermiques au droit des planchers et des murs de refend devient alors complexe. Car l'isolation par l'intérieur ne garantit plus une continuité de l'isolant, créant de ce fait des ponts thermiques. Tous les endroits de jonctions devront être très étudiés.

Les matériaux les plus étanches à la vapeur doivent être disposés du côté « chaud » de l'isolant. C'est pourquoi, afin d'éviter une condensation d'eau dans le mur, un pare-vapeur pourra être nécessaire lors de l'isolation d'un mur par l'intérieur. Tout dépend des matériaux mis en œuvre (Figure3).

Lorsque la peau extérieure du parement est imperméable à la vapeur, l'isolation par l'intérieur ou par remplissage d'une coulisse sera toujours évitée.

Cette technique d'isolation crée certains points critiques qui demandent une attention plus particulière comme :

- la jonction mur extérieur – dalle (idem jonction mur extérieur – mur intérieur (cloison) (idéalement, interruption du plancher pour assurer la continuité de l'isolant)
- le cas de la jonction mur extérieur – mur intérieur (cloison) (Voir Figure4)
- la jonction à la toiture
- la jonction avec sol

Lorsque ces points critiques ne peuvent pas être traités ou ne le sont pas, une rupture locale du caractère isolant se forme caractéristique des ponts thermiques.



Figure3 : Rouleaux de laine minérale placés entre le mur existant et la nouvelle paroi intérieure constituée de blocs de plâtre (Evrard A., 2010). (Photo : Atelier d'Architecture Meunier-Westrade)

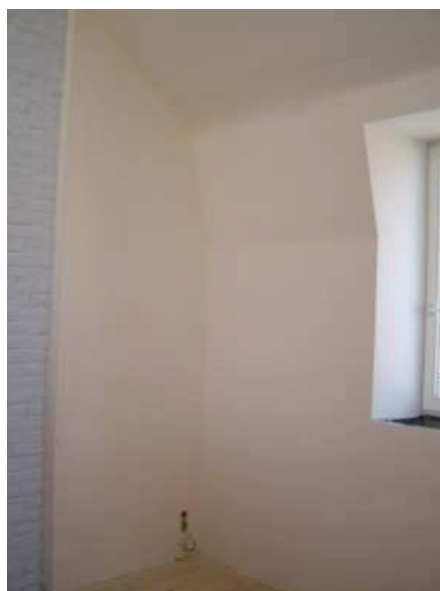


Figure4 : Retour d'isolant sur le mur de refend (Evrard A., 2010). (Photo : Yves Piron, architecte, Asbl Eco'Hom)

L'isolation de l'enveloppe par le remplissage de la coulisse

L'isolation par le remplissage de la coulisse est une solution rapide et facile notamment très en vogue actuellement en Grande-Bretagne (Figure 5). Les différents aspects techniques, tels qu'un examen préalable de la coulisse, sont gérés par les sociétés spécialisées. Cet examen est réalisé au moyen d'une petite caméra glissée dans la coulisse, soit via un forage, soit via tout autre accès aisé, lors du remplacement d'un châssis par exemple. Cette technique d'isolation ne sera pas utilisée s'il y a :

- présence de nombreuses interruptions de la coulisse, car cela provoquerait des ponts thermiques
- présence d'humidité
- un parement déjà endommagé par le gel (parement ne laissant pas passer la vapeur d'eau (ex : briques vernissées))
- lorsque les joints sont dégradés

Les techniques d'insufflation d'isolant dans une coulisse sont mises en œuvre par les fabricants ou des placeurs. Pour cette technique, il faut un matériau isolant répulsif à l'eau ce qui rend les isolants végétaux inadaptés (énergie+, 2010 et Trachte, 2009).

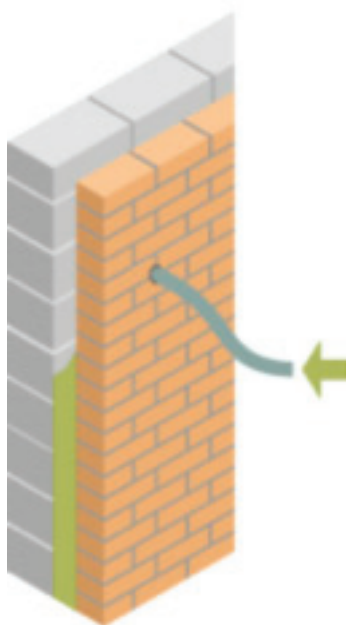


Figure 5 : Remplissage d'isolation de la coulisse
d'un mur creux (Illustration : F.Flémal)

Dans le cas d'un mur creux, mais où la coulisse est trop mince ou ne permet pas l'isolation par remplissage, il faudra alors se tourner vers un autre type d'isolation. On peut démonter le parement existant, isoler parfaitement, avec l'épaisseur souhaitée, et remettre un parement ou finition. Cela permet, en cas de problème de surépaisseur débordant sur le domaine public, de choisir un parement plus mince que le précédent, et de consacrer cette différence d'épaisseur pour de l'isolation supplémentaire.

L'isolation de l'enveloppe mixte

Il est parfois délicat d'isoler par l'extérieur la façade principale. C'est pourquoi il est tout à fait envisageable, par exemple, d'isoler par l'intérieur la façade principale et d'isoler par l'extérieur la façade à l'arrière ce qui est souvent le cas dans les zones urbaines. Dans les zones périurbaines et rurales à moins de vouloir conserver l'aspect originel du bâtiment, une isolation par l'extérieur est à privilégier.

La combinaison de ces deux types de méthode doit se faire en évitant le plus possible les ponts thermiques. Ce qui implique que les deux isolants doivent se chevaucher aux endroits des raccords entre un mur isolé par l'extérieur et un mur, une dalle ou un plafond isolé par l'intérieur.

L'isolation des ouvertures

Lors de l'isolation des murs, les ouvertures doivent s'adapter et contenir l'isolant afin que celui-ci soit appliqué de manière continue (voir Figure 6). La rénovation est aussi une occasion de modifier les baies existantes. Car les ouvertures ont une influence sur les gains solaires qu'il est intéressant d'optimiser. La fiche « L'amélioration des ouvertures (fenêtres et portes) » (BAT04) traite plus en détail des mesures à appliquer lors de la rénovation des ouvertures.



Figure 6 : L'isolation doit être placée de manière continue afin d'éviter tout pont thermique
(Photo : A. Branders)

Les ponts thermiques

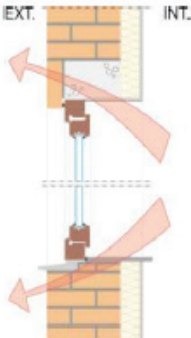
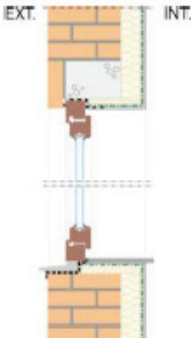
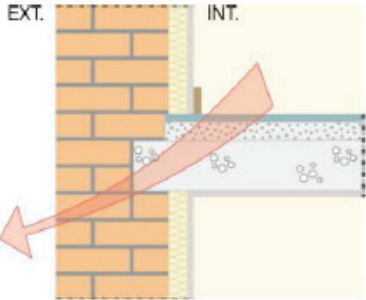
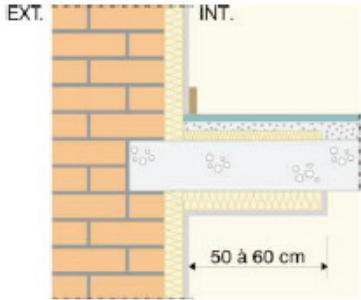
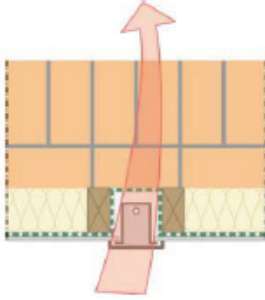
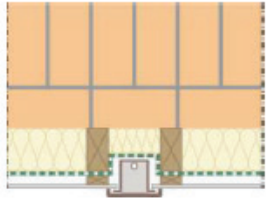
Les ponts thermiques sont des défauts dans la conception et/ou dans la réalisation de l'enveloppe isolante. Ils sont principalement présents aux endroits de jonctions et de raccord (fenêtre, balcon, linteau, mur-toit,...). Les surfaces à proximité des ponts thermiques se caractérisent par une température de surface inférieure à la température moyenne des parois engendrant ainsi une sensation de paroi froide et donc un inconfort. En plus, ces ponts thermiques peuvent causer de nombreux désagréments comme la condensation de l'humidité intérieure qui peut créer des développements de champignons, une surconsommation de chauffage,... Les moisissures, inesthétiques, présentent un risque sanitaire (asthme, etc.), elles dégradent tous les états de surface (peintures, plafonnage) et mettent à mal les constructions en bois. Les ponts thermiques peuvent représenter 10 % de la consommation de chauffage d'un bâtiment moyennement isolé et sont source de pollution intérieure. Plus le bâtiment est isolé, plus ces défauts d'isolation ressortent et induisent des déperditions relativement importantes (jusqu'à 25% des déperditions totales).

En rénovation, une recherche exhaustive des ponts thermiques existants doit être réalisée au moyen des outils adéquats (thermographie, thermomètres de surface, etc.). Cela permettra d'identifier les faiblesses de la paroi. Considérant que l'impact d'un pont thermique de dimensions limitées est faible sur les consommations énergétiques en rénovation, la présence de certains ponts thermiques existants peut être tolérée si leur dimension est réduite et si leur résolution est particulièrement complexe et/ou coûteuse (énergie+, 2010 et de Meester, 2009).

Plusieurs cas de figure où les ponts thermiques pouvant être évités sont développés sur le site d'énergie+, le tableau 2 en reprend un bref aperçu.

Tableau 2 : Pistes de solutions pour résoudre des ponts thermiques rencontrés fréquemment dans le cadre de l'isolation par l'intérieur.

	Problèmes	Pistes de solutions
Mur de refend		<p>Solution 1</p> <p>Solution 2</p>

Châssis, linteaux et tablettes de fenêtres		
Dalle d'étage		
Prises électriques et canalisations		

L'étanchéité à l'air

Assurer une bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe des bâtiments est essentiel. Les infiltrations d'air dans le bâtiment essentiellement dues à des points faibles de l'enveloppe doivent être limitées, car elles :

- induisent une consommation d'énergie non négligeable, puisqu'il faut, en hiver, réchauffer davantage d'air froid,
- diminuent la qualité de l'isolation acoustique de l'enveloppe ce qui, en ville, est un enjeu de plus en plus important,
- peuvent être la cause de condensations à l'intérieur des parois, entraînant des problèmes d'humidité, de moisissure et/ou de corrosion,

- créent des courants d'air inconfortables.

L'étanchéité à l'air d'un bâtiment peut être mesurée par une technique appelée « Blower Door » ou « infiltrométrie ». Elle consiste à créer une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment fermé, à l'aide d'un ventilateur. Des outils tels que fumigène ou caméra thermique permettent de détecter les endroits où l'air s'infiltré au travers de l'enveloppe.

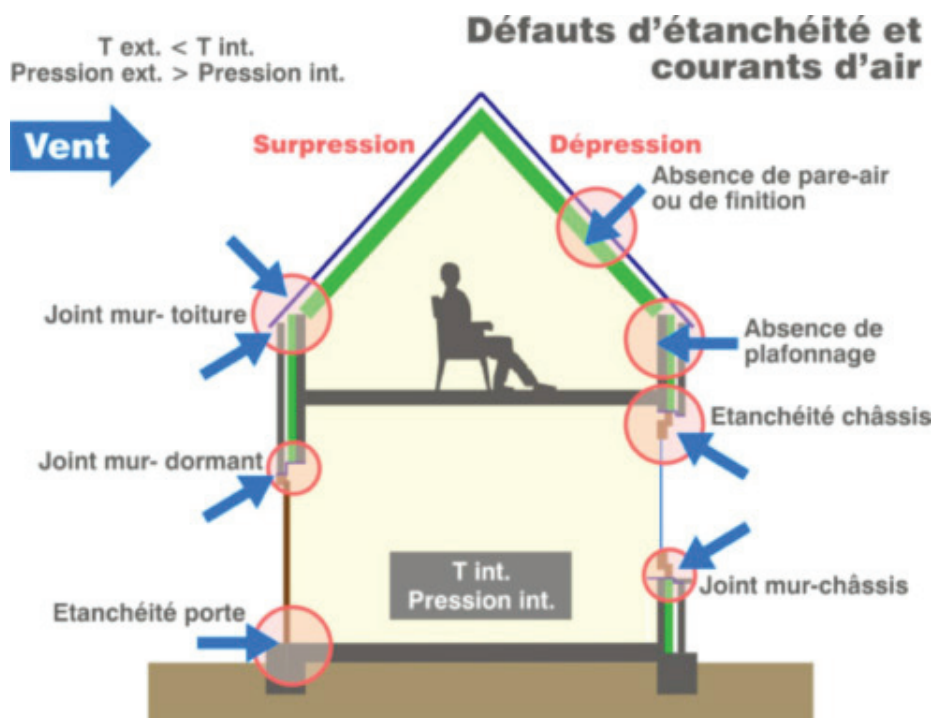


Figure 7 : Les défauts de l'enveloppe où les infiltrations d'air sont fréquentes dans les bâtiments

Pour assurer, la qualité de l'étanchéité à l'air d'une enveloppe, il faut améliorer :

- la qualité de la mise en œuvre des pannes vapeurs ou freines vapeurs par l'utilisation de bandes adhésives (soudure les lés et colmater les éventuels défauts ponctuels)
- la nature et la qualité des revêtements intérieurs en employant des enduits continus (plafonnages, enduits d'argile, à la chaux, ...) plus étanches que les revêtements discontinus constitués de panneaux, de planches,...
- la qualité des menuiseries et des joints entre les menuiseries et les baies : châssis étanches, joints entre les parois et les châssis soigneusement étanchéifiés à l'aide de la combinaison d'une membrane étanche, d'un retour d'isolation et de la finition, et idéalement d'un joint en silicone complémentaire. Il faut limiter ces infiltrations donnant sur l'extérieur ou sur les locaux non chauffés.
- le placement des conduites d'eau ou d'électricité de façon à ne jamais percer la membrane étanche ou du moins éviter un maximum ces percements.

- la trappe de fermeture des conduits de fumée de cheminée à foyer ouvert et de hotte de cuisine, les trappes sur les combles, les portes d'entrée (éviter de la placer sur la façade exposée au vent dominant, intérêt de prévoir un sas,...),...



Figure 8 : L'étanchéité est assurée par une membrane et des bandes adhésives. La poutre, appuyée sur un support temporaire, a été découpée afin d'éviter un pont thermique.

En pratique dans le cadre d'une rénovation, un niveau d'étanchéité de l'enveloppe à atteindre par le logement sera fixé volontairement lors de la phase de conception thermique du bâtiment à rénover. Cette valeur non réglementée (sauf pour le standard passif) sera généralement comprise entre 1 et $7,8 \text{ h}^{-1}$ sous une pression de 50 Pa. Pour assurer l'efficacité d'un système de ventilation avec récupérateur de chaleur, une étanchéité à l'air de $\eta_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$ est requise (Massart, 2010).



Illustrations : rénovation globale et locale

La meilleure illustration des réductions énergétiques suite à une rénovation de l'enveloppe est celle fournie par l'outil SAFE qui permet d'évaluer son propre logement. Des résultats sont fournis en rapport avec le bâtiment testé et des propositions d'améliorations sont détaillées et adaptées à votre cas.

Rénovation globale

L'illustration présente des résultats de simulations pour un bâtiment « 4 façades » dont les demandes de chauffages sont analysées pour 7 niveaux de performances de l'enveloppe :

1. Bâtiment non isolé [NI], étanchéité à l'air de 0.6 vol/h, ventilation naturelle (de type A) consistant en une ouverture des fenêtres 1h par jour
2. Bâtiment avec 3cm d'isolation en moyenne dans les parois (dans les murs, toit et dalle de sol) [3cm], étanchéité à l'air de 0.6 vol/h, ventilation naturelle (de type A) consistant en une ouverture des fenêtres 1h par jour
3. Bâtiment avec 6cm d'isolation en moyenne dans les parois (dans les murs, toit et dalle de sol) [6cm], étanchéité à l'air de 0.6 vol/h, ventilation naturelle (de type A) consistant en une ouverture des fenêtres 1h par jour
4. Bâtiment correspondant au standard belge actuel Umax [PEB], étanchéité à l'air de 0.39 vol/h ($7.8h^{-1}$ sous 50Pa), 3 types de ventilation ont été simulées : une ventilation naturelle (type A), une ventilation avec extraction mécanique (type C) et une ventilation mécanique (de type D avec récupérateur de chaleur)
5. Bâtiment au standard de rénovation basse énergie [BE], étanchéité à l'air de 0.1 vol/h ($2h^{-1}$ sous 50Pa), les 3 mêmes types de ventilations ont été simulés : type A, C et D avec récupérateur de chaleur, exigences : besoins en chauffage annuel ≤ 60 kWh/m².an
6. Bâtiment au standard de rénovation très basse énergie [TBE], étanchéité à l'air de 0.05 vol/h ($0.1h^{-1}$ sous 50Pa), les 3 mêmes types de ventilations ont été simulés : type A, C et D avec récupérateur de chaleur, exigences : besoins en chauffage annuel ≤ 30 kWh/m².an
7. Bâtiment au standard maison passive [Passif], étanchéité à l'air de 0.03 vol/h ($0.6h^{-1}$ sous 50Pa), les 3 mêmes types de ventilations sont simulés : type A, C et D avec récupérateur de chaleur, exigences : besoins en chauffage annuel ≤ 15 kWh/m².an

(Feist W., 2008 ; Delmotte C., 2008, NBN B 62-002, 2008 ; NBN D50-001, 2008, www.maisonpassive.be, 2010). Les consignes de thermostat sont de 20 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 16 °C durant la nuit et en journée.

La Figure 9 présente les demandes annuelles de chauffage du bâtiment « 4 façades » simulé aux 7 différents niveaux énergétiques présentés ci-dessus. Les réductions demandes de chauffage lors du passage d'un niveau énergétique à un autre sont assez visibles. La variation des demandes de chauffage dépend également du type de ventilation utilisée, de l'étanchéité mise en œuvre, etc.

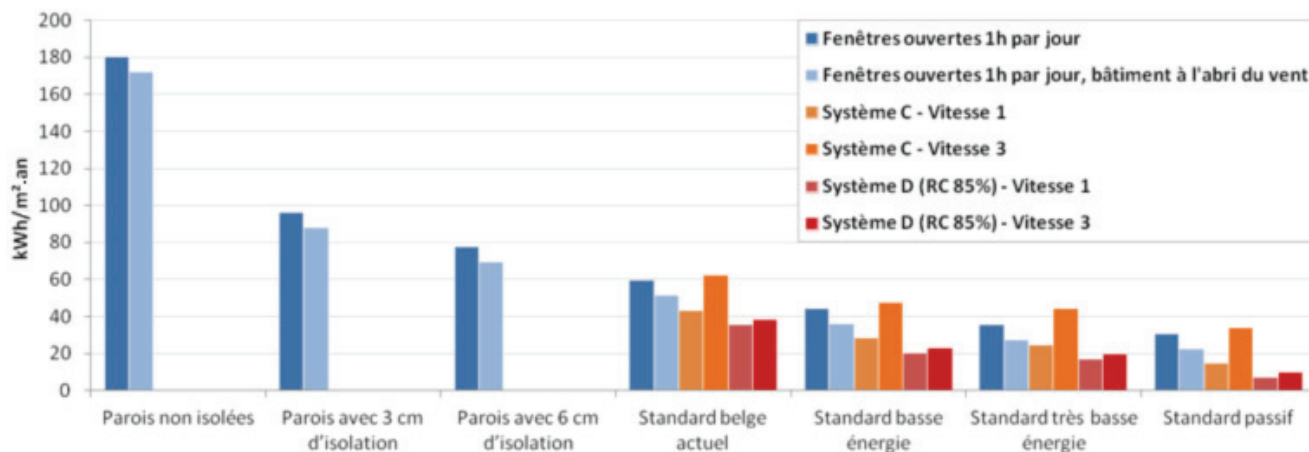


Figure 9 : Demande annuelle de chauffage en kWh/m².an d'une maison « 4 façades » à travers 7 niveaux de performance de l'enveloppe.

Ces réductions des demandes annuelles suite à une rénovation globale de l'enveloppe permettant d'atteindre un niveau énergétique plus performant, peuvent être assez importantes. La Figure 10 basée sur des éléments de la Figure 9, illustre ces réductions (en %) en montrant pour 6 situations existantes représentées par les 5 courbes et le point, les réductions de demandes annuelles de chauffage possible si le bâtiment existant est rénové pour atteindre un niveau de performances plus élevées. Notons que cette figure reprend un seul élément par niveaux de performance de la figure 9 : le NI, le 3cm et le 6cm correspondent à celui de « Fenêtres ouvertes 1h par jour », le bâtiment correspondant au standard belge actuel [PEB] et celui au standard de rénovation basse énergie [BE] sont considérés avec un système de ventilation C (vitesse 3) et le bâtiment correspondant au standard de rénovation très basse énergie [TBE] et celui au standard maison passive [Passif] sont considérés avec un système de ventilation D avec récupérateur de chaleur (vitesse 3). Le passage au niveau TBE et Passif est marqué par un petit « saut » traduisant l'intégration d'un système de ventilation D avec récupérateur de chaleur mais également une meilleure étanchéité à l'air.

Prenons l'exemple d'un bâtiment existant correspondant à ce bâtiment « 4 façades » simulé dont les parois sont composées de 3 cm d'isolation (courbe rouge). Le pourcentage des réductions engendrées par une rénovation de ce cas peut être visualisé en glissant le long de cette courbe rouge. Si ce bâtiment est rénové à un niveau basse énergie [BE], la réduction de ses demandes annuelles de chauffage sera d'environ 50%.

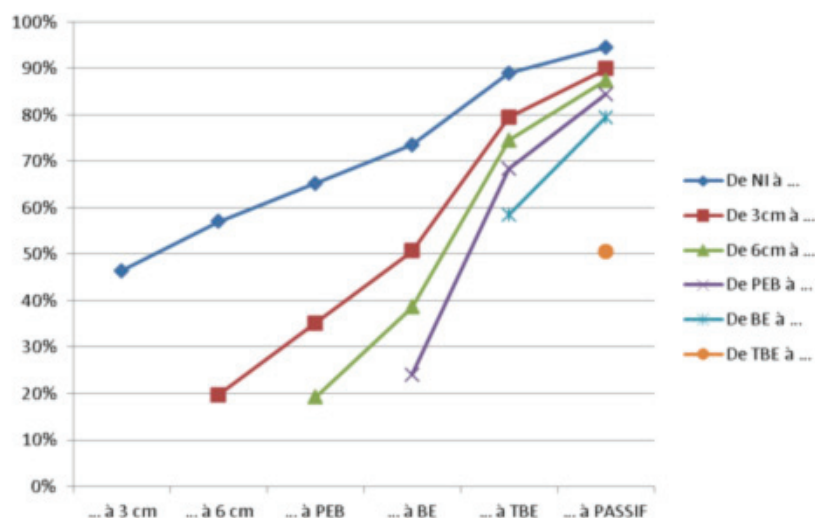


Figure 10 : Illustration des réductions de la demande annuelle de chauffage (en %) réalisées lors du passage d'un niveau d'isolation à un autre, plus performant, dans le cas d'une maison 4 façades.

Rénovation locale

La figure suivante illustre une intervention plus locale qui consiste simplement en l'amélioration de l'isolation du toit. Les maisons simulées ont été modélisées avec différentes épaisseurs d'isolant dans les parois et différents types de vitrages. Notons que l'étanchéité à l'air du bâtiment, fixée dans les simulations, n'a pas été considéré dans la modélisation comme amélioré malgré l'augmentation de l'isolation dans le toit ce qui permet de cibler l'impact exclusif de l'isolant.

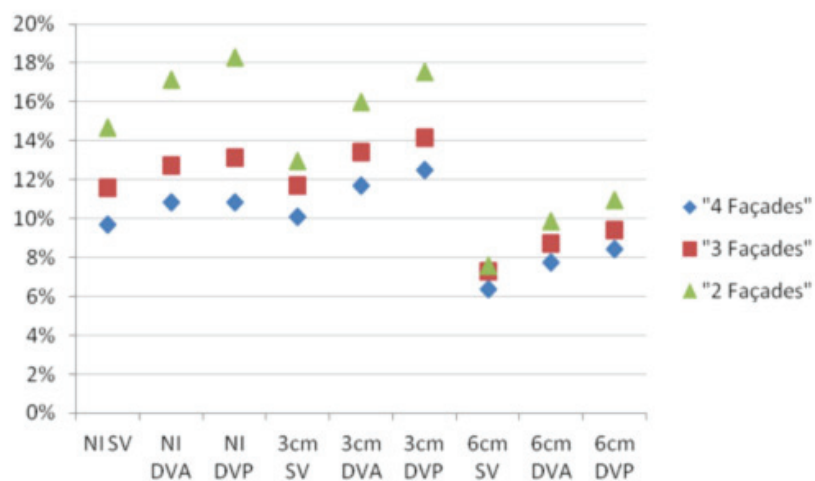


Figure 11 : Illustration des réductions de la demande annuelle de chauffage (en %) obtenues lors de l'ajout de 16 cm d'isolation dans le toit de maisons non isolées [NI] ou isolées avec 3 ou 6 cm d'isolation en moyenne dans les parois [3cm] et [6cm]. Trois types de vitrages sont envisagés : simple vitrage [SV], double vitrage ancien [DVA] ou double vitrage performant [DVP]



Conclusion

64.10% des bâtiments en Région wallonne ne sont pas du tout isolés. Or vu les surfaces en contact avec l'extérieur, les murs du bâtiment représentent l'endroit principal des déperditions thermiques de l'enveloppe auquel s'ajoute des pertes par ventilation due à une mauvaise étanchéité à l'air. L'isolation joue donc un rôle primordial pour améliorer les performances de l'enveloppe du bâtiment. La rénovation par l'amélioration de l'isolation peut être locale (isolation du toit ou des planchers par exemple) ou globale (isolation de l'enveloppe du bâtiment). Trois techniques d'isolation existent en rénovation (isolation par l'extérieur, par l'intérieur et par le remplissage de la coulisse, dans le cas de murs creux) possédant chacune leurs avantages et leurs inconvénients. L'isolation par l'extérieur est à privilégier dans la mesure du possible permettant d'assurer plus facilement la continuité de l'isolation. Cette continuité permet d'éviter ou de diminuer les ponts thermiques, source de pollution intérieure, et pouvant représenter 10 % de la consommation de chauffage d'un bâtiment moyennement isolé. L'étanchéité à l'air est également un des points essentiels à favoriser lors d'une rénovation.

La rénovation de l'enveloppe permet des réductions de consommation de chauffage beaucoup plus importantes que celle impliquant de simples mesures, car une rénovation globale permet entre autres d'assurer une continuité dans l'isolation (diminution des ponts thermiques), d'améliorer l'étanchéité à l'air, d'introduire des systèmes performants (ex : ventilation double flux avec récupérateur de chaleur), etc.



Références

- de Meester T. [2009]. Guide de la rénovation basse énergie des logements en Belgique. LEHR, Low Energy Housing Retrofit - Low Energy Housing Retrofit, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain, financé par la Politique Scientifique Fédérale, dans le cadre du « Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique », www.lehr.be, 2009.
- Evrard A., A. Branders, A. De Herde [2010]. Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques pleines, dans le cadre de la recherche ISOLIN, financée par le département Énergie et Bâtiment durable du Service Public de Wallonie, Architecture et Climat, juillet 2010
- Kints, C. [2008]. La rénovation énergétique et durable des logements wallons. Analyse du bâti existant et mise en évidence des typologies de logements prioritaires, Architecture & Climat, UCL, Ministère de la Région Wallonne (MRW-DGTRE), International Energy Agency, Solar heating & cooling of Task 37 and Federal Science Policy, project LEHR (www.lehr.be).
- Massart C., De Herde A. [2010]. Conception de maisons neuves durables, Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie, Architecture et Climat – UCL, financé par Service Public Wallonie DG04 Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, 2010.





- TRACHTE S. [2009]. Advanced housing renovation with solar and conservation, IEA SHC TASK 37, SUBTASK D environmental, impact, assessment, Architecture et climat, Université Catholique de Louvain, 2009



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier :

- SAFE.BAT03 : La rénovation : quelles démarches suivre?
- SAFE.BAT04 : L'amélioration des ouvertures (fenêtres et portes)
- SAFE.BAT06 : L'impact du comportement des occupants

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lemma.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be



Auteurs de la fiche

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain

T. de Meester et Prof. A. De Herde

Place du Levant, 1

1348 Louvain-La-Neuve

Tatiana.demeester@uclouvain.be

+32 10 47 23 34

<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public, chercheurs



Général, bâtiment, comportement, consommation



SAFE.BAT06

L'impact du comportement des occupants



Les points principaux

- La composition et le comportement des ménages influencent fortement l'équilibre énergétique de leur logement : cet impact est proportionnellement plus marqué quand le bâtiment est bien isolé
- Trois paramètres liés aux comportements humains et aux modes d'occupation sont étudiés à travers 7 différents niveaux d'isolation : la taille de la famille, la gestion du système de chauffage et la gestion de l'espace chauffé
- Une réflexion est ouverte sur les consommations moyennes d'un logement à travers son cycle de vie suite à l'évolution de différents modes d'occupations qui s'y seraient succédé



Résumé

L'influence de la composition du ménage, son évolution à travers le cycle de vie d'un logement et le comportement des occupants qui évoluent au fil du temps alors que la maison garde une taille fixe et inchangée, sont des paramètres qui ont un impact sur la facture énergétique d'un ménage et qui doivent être pris en compte lors d'une rénovation.

Cette fiche présente les résultats d'une étude réalisée sur un bâtiment quatre façades de 180 m² occupés (hors cave et grenier) comparant les variations de trois paramètres liés aux comportements humains et aux modes d'occupation: la taille de la famille, la gestion du système de chauffage et la gestion de l'espace chauffé et ce, pour 7 différents niveaux d'isolation.



© José Flémal - Architecture et Climat

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4, programme mobilisateur energywall

Mars 2012



L'impact du comportement des occupants : introduction

L'influence de la composition du ménage, son évolution à travers le cycle de vie d'un logement et le comportement des occupants qui évoluent au fil du temps alors que la maison garde une taille fixe et inchangée, sont des paramètres qui ont un impact sur la facture énergétique d'un ménage et qui doivent être pris en compte lors d'une rénovation. Les opérations de construction et d'entretien, les activités des occupants et la qualité des environnements intérieurs sont liées au comportement humain. Et ceux-ci sont en effet connus pour avoir une influence aussi grande ou même plus grande que le climat, l'enveloppe du bâtiment et les systèmes de chauffage [Hilderson W., 2010].

Dans le contexte actuel de l'intérêt croissant pour le développement durable et avec les prix de l'énergie qui augmentent, les ménages font de plus en plus attention à leurs consommations énergétiques et plus particulièrement aux consommations de chauffage [Mettetal L. 2009]. Cependant, une grande partie de la population et notamment les propriétaires plus âgés sont réticents à entreprendre de lourds travaux de rénovation. L'âge des occupants semble d'ailleurs avoir un énorme impact sur les charges de chauffage et sur la température de confort [Mettetal L. 2009]. La plupart des ménages sont prêts à diminuer leur confort cependant, la priorité de certaines personnes généralement âgées est le confort thermique. Cet équilibre entre confort et modération varie avec l'âge et la composition familiale. En effet, la consommation de chauffage augmente en fonction de l'âge du chef de famille. Chez les personnes âgées, la température est beaucoup plus élevée que la moyenne. Dans les quartiers périurbains, les mesures d'économie d'énergie à domicile semblent être plus acceptées que celles visant le transport, car les déplacements quotidiens sont considérés comme incompressibles [Poortinga W., 2003 et Mettetal L., 2009]. Le comportement et les préférences des habitants ainsi que les solutions adoptées par les ménages pour réduire leur consommation peuvent donc varier dans de larges proportions et ne peuvent être représentés par seulement un seul type standard de ménage.

Cette fiche présente des résultats comparant les variations de trois paramètres liés aux comportements humains et aux modes d'occupation : la taille de la famille (leurs compositions), la gestion du système de chauffage (thermostat) et la gestion de l'espace chauffé. Ces trois paramètres seront ensuite combinés afin de déterminer l'évolution de l'occupation de la maison pendant son cycle de vie.

Cette fiche reprend une étude réalisée sur un bâtiment quatre façades de 180 m² occupés (hors cave et grenier). L'intérêt de cette étude est d'analyser au niveau des consommations de chauffage, l'impact des interactions entre ces différents modes d'occupation à travers différents niveaux d'isolation. Delà, découlera l'étude de l'intérêt d'adapter ou non la taille de la maison en fonction de l'évolution de la taille de la famille et l'analyse du bilan des performances du bâtiment sur sa durée de vie en fonction des différents modes d'occupation qui s'y sont succédés.





Variations de modes d'occupation

La présence plus ou moins nombreuse des occupants, la manière dont ceux-ci décident d'occuper et de chauffer les espaces et, la surface des espaces occupés et chauffés ont un très grand impact sur les consommations de chauffage. Ces impacts sont plus ou moins importants en fonction du niveau de performances des parois des bâtiments et surtout les paramètres les plus influents évoluent en fonction du niveau d'isolation du bâtiment.

Les modes d'occupation

L'étude compare l'influence de trois paramètres liés au comportement humain et au mode d'occupation, sur les consommations de chauffage d'un bâtiment.

Le premier paramètre représente la taille de la famille et les modes d'activité lui correspondant. Deux types de composition de famille sont considérés afin de caractériser les **4 modes d'occupations** suivants :



Le mode d'occupation 1 représente un couple actif travaillant à l'extérieur durant la journée pendant que leurs trois enfants vont à l'école.



Le mode d'occupation 2 représente un couple d'indépendants ou un couple de sans-emplois travaillant ou se trouvant à la maison durant la journée pendant que leurs trois enfants vont à l'école.



Le mode d'occupation 3 représente un couple actif sans enfants travaillant ou se trouvant à l'extérieur durant la journée. 5 cas sont discutés.



Le mode d'occupation 4 représente un couple de personnes retraitées et pas très actives restant beaucoup de leur temps chez eux. 4 cas sont discutés.

Le second paramètre est **la gestion du système de chauffage**.

Les 4 hypothèses de gestion de la consigne de chauffage sont reprises sous la forme de ces 4 thermostats :



- T1 : 20 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 16 °C la nuit et en journée (la saison de chauffe : du 1er octobre au 1er mai)
- T2 : 20 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 16 °C durant la nuit (la saison de chauffe : du 1er octobre au 1er mai)
- T3 : 21°C constant dans les pièces occupées tout au long de l'année
- T4 : 24 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 20 °C durant la nuit (la saison de chauffe : du 1er octobre au 1er mai)

Le dernier paramètre est la **gestion de la surface de planchers chauffés**. La taille des familles et ses activités évoluent au cours du temps alors que la maison a bien souvent une taille fixe et inchangée, mais parfois, les personnes se retranchent dans une partie de l'habitation qui devient trop grande pour eux (par exemple : après le départ des enfants, face à la difficulté de monter un escalier,...). Dans cette étude, la maison est soit habitée complètement (c'est-à-dire au rez-de-chaussée et à l'étage) soit seulement partiellement (uniquement le rez-de-chaussée).

Les cas étudiés

Les différents cas étudiés proviennent de la combinaison des 3 paramètres de bases. Onze cas sont repris et résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Les 11 cas d'études*.

	Mode d'occupation	Surface occupée/chauffée (RDC + Etage)	Surface occupée/chauffée (RDC)	Th1	Th2	Th3	Th4
Cas 1.1	1	x		x			
Cas 2.2	2	x			x		
Cas 3.3	3	x**		x			
Cas 3.4	3	x**			x		
Cas 3.5	3		x		x		
Cas 3.6	3	x**				x	
Cas 3.7	3		x			x	
Cas 4.8	4	x**				x	
Cas 4.9	4		x			x	
Cas 4.10	4	x**					x
Cas 4.11	4		x				x

* Les gains internes sont adaptés à chaque cas en fonction du mode de vie et de l'espace occupé et chauffé.

** Les chambres « enfants » ne sont donc pas occupées et par conséquent pas chauffées



Les gains internes utilisés pour chaque simulation dépendent du mode d'occupation choisi et donc de la combinaison entre les trois paramètres. La valeur de références pour établir la base de la composition des gains internes provient d'un monitoring et vaut 2.57 W/m^2 [De Herdre, A., 1994].

Les niveaux d'isolation considérés pour ces cas

7 niveaux d'isolation sont analysés pour les 11 cas développés :

1. Bâtiment non isolé (NI), étanchéité à l'air de 0.6 vol/h , ventilation naturelle (de type A)
2. Bâtiment avec 3 cm d'isolation en moyenne dans les parois (dans les murs, toit et dalle de sol) (3 cm), étanchéité à l'air de 0.6 vol/h , ventilation naturelle (de type A)
3. Bâtiment avec 6 cm d'isolation en moyenne dans les parois (dans les murs, toit et dalle de sol) (6 cm), étanchéité à l'air de 0.6 vol/h , ventilation naturelle (de type A)
4. Bâtiment correspondant au standard actuel belge Umax (SA), étanchéité à l'air de 0.39 vol/h (7.8 h^{-1} sous 50 Pa), ventilation naturelle (de type A) [Feist W., 2008 ; Delmotte C., 2008, NBN B 62-002, 2008 ; NBN D50-001, 2008, www.maisonpassive.be, 2010]
5. Bâtiment au standard de rénovation basse énergie (BE), étanchéité à l'air de 0.1 vol/h (2 h^{-1} sous 50 Pa), Extraction mécanique (de type C), besoins en chauffage annuel $\leq 60 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ [Feist W., 2008 ; Delmotte C., 2008, NBN D50-001, 2008]
6. Bâtiment au standard de rénovation très basse énergie (TBE), étanchéité à l'air de 0.05 vol/h (0.1 h^{-1} sous 50 Pa), ventilation mécanique (de type D avec récupérateur de chaleur), besoins en chauffage annuel $\leq 30 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ [Feist W., 2008 ; Delmotte C., 2008, NBN D50-001, 2008]
7. Bâtiment au standard maison passive (Passif), étanchéité à l'air de 0.03 vol/h (0.6 h^{-1} sous 50 Pa), ventilation mécanique (de type D avec récupérateur de chaleur), besoins en chauffage annuel $\leq 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ [Feist W., 2008 ; Delmotte C., 2008, NBN D50-001, 2008]

Notons que la vitesse des systèmes de ventilation C & D considérés est la vitesse 1 ($=1/3$ de celle correspondant à la norme).

Comment analyser les résultats ?

L'étude compare des demandes ou besoins nets de chauffage (\neq des consommations, car indépendants du système de chauffage choisi) en $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{an})$ pour les 11 cas dont la surface varie d'un cas à l'autre. De cette constatation, les demandes de chaleur des 11 cas simulés pour les 7 niveaux d'isolation sont analysées de deux manières :





- La demande totale de chauffage de la maison est divisée par la surface totale de celle-ci (182m²).
- La demande totale de chauffage de la maison est divisée par la surface occupée et chauffée (182m² si la maison est totalement occupée par la famille (cas 1.1 et 1.2), 138m² si le rez-de-chaussée et l'étage sont partiellement occupés par un couple (cas 3.3, 3.4, 3.6 et 4.8) et 91m² si seulement le rez-de-chaussée est occupé par un couple (cas 3.5, 3.7 et 4.9)).

Notons que si la surface chauffée change d'un cas à l'autre, la position de l'isolation, elle reste la même dans chaque cas.



Analyse de l'influence des modes d'occupation sur la demande de chauffage d'un bâtiment

Les 11 cas permettent l'évaluation des demandes de chauffage induites par différents modes d'occupations d'une maison durant sa vie. Pour chaque cas, les 7 niveaux d'isolation thermique sont envisagés. L'analyse se développera en 4 étapes :

1. L'analyse de 2 cas représentant une famille avec enfants (cas 1.1 et cas 2.2),
2. L'analyse de 5 cas représentant un couple de personnes actives sans enfant (cas 3.3 à 3.7),
3. L'analyse de 2 cas représentant un couple de personnes retraitées (cas 4.8 et 4.9), et
4. La comparaison de 3 cas représentatifs de 3 des 4 modes d'occupation traités (les cas 1.1, 3.4 et 4.9).

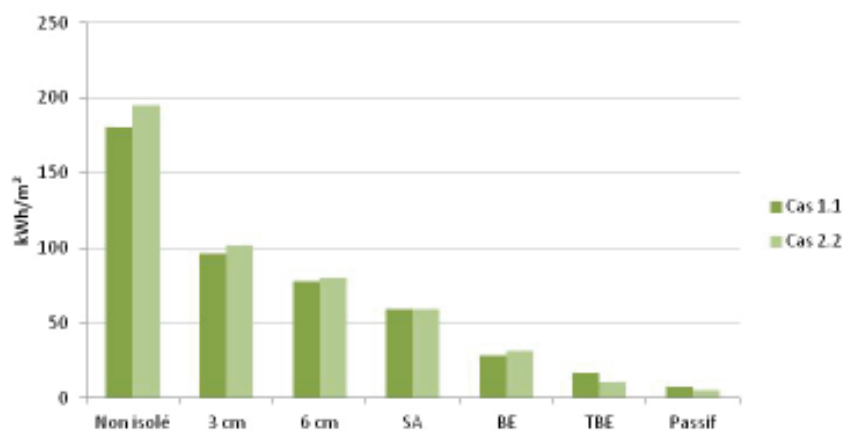


Modes d'occupation 1 et 2 : couple avec enfants

Le mode de vie représenté par le cas 1.1 est légèrement moins énergivore que le mode de vie du cas 2.1 tant que le bâtiment est peu isolé, mais lorsque ce bâtiment devient très bien isolé, c'est l'inverse et le mode de vie du cas 2.1 devient énergétiquement plus intéressant. Remarquons que ce dernier mode de vie, le 2.1, correspond entre autres à un mode de vie de télé travail ou « home working » qui permet de diminuer ses kilomètres parcourus.

Le graphe ci-dessous révèle que le cas 1.1 est moins énergivore que cas 2.2 pour tous les niveaux d'isolation sauf pour le cas passif où là, la tendance s'inverse. Proportionnellement, c'est à ce niveau passif que la plus grande différence de demande de chauffage est atteinte entre les deux cas avec 2.28 kWh/m².an (28.73%). Pour les autres niveaux d'isolation, la différence entre les deux cas varie entre 0.75% jusqu'à 8.28% (de 0.45 à 14.98 kWh/m².an). Les énormes écarts entre les différents niveaux d'isolation visibles sur le graphe, révèlent les réductions possibles de consommations lors d'une rénovation. Les plus grandes réductions de consommation qu'entraîne ce passage d'un niveau d'isolation à un autre niveau pour les deux cas considérés sont marquées en atteignant le standard passif. (Notons que ce niveau est peu évident à atteindre en rénovation.) Mais de manière générale, tout passage au niveau d'isolation supérieur est très clairement intéressant et d'impact plus important que celui de privilégier le mode d'occupation du cas 1.1 au cas 2.2.





Demandes de chaleur (kWh/m².an) des modes d'occupation 1 et 2 pour 7 niveaux d'isolation (la demande de chauffage est divisée par la surface totale de la maison (182m²)).



Modes d'occupation 3 : couple actif sans enfants

Pour les couples occupant une maison unifamiliale, l'ensemble des espaces comme les chambres ne sont pas occupés et donc pas chauffés. Parfois même, c'est tout l'étage qui n'est pas occupé et chauffé lorsque le couple décide par facilité ou autre de se retrancher dans une partie de la maison par exemple au rez-de-chaussée (où le bureau est converti en chambre).

De ce fait, nous pouvons analyser les résultats de demande de chauffage de deux manières distinctes :

- Soit en kWh/m² où les m² représentent la surface totale, habitable de la maison (RDC + 1er étage). C'est cette surface qui a permis le dimensionnement de l'habitation pour les différents standards BE, TBE et Passif.
- Soit en kWh/m² où les m² représentent la surface occupée et chauffée (182m² si la maison est totalement occupée par la famille (cas 1.1 et 1.2), 138m² si le rez-de-chaussée et l'étage sont partiellement occupés par un couple (cas 3.3, 3.4, 3.6 et 4.8) et 91m² si seulement le rez-de-chaussée est occupé par un couple par un couple (cas 3.5, 3.7 et 4.9).

En observant les demandes de chauffages divisées par la surface chauffée (graphe de droite), on peut constater que 4 des 5 cas correspondant au troisième mode d'occupation ne respectent pas le standard passif. Mais si on regarde les demandes de chauffage de ces mêmes cas (cas 3.3 à 3.7), mais cette fois, divisées par la surface totale de la maison (graphe de gauche), alors le standard passif est bien respecté. Les valeurs des cas 3.6 et 3.7 sont limites d'autant plus que ces cas sont considérés à la vitesse 1 du taux de ventilation. La vitesse 3, correspondant à la norme, ne remplit pas les exigences du passif, car les besoins nets atteignent respectivement 19.55 kWh/m².an et 18.15 kWh/m².an. Rappelons que cette vitesse 3 est utilisée occasionnellement dans la pratique.

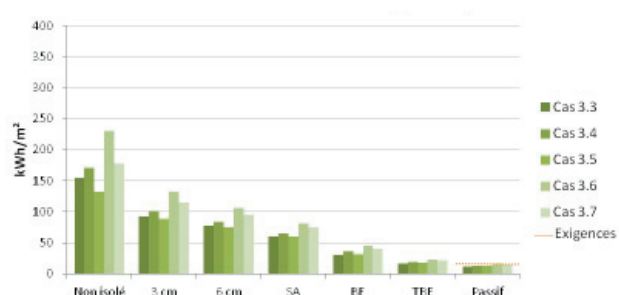


Le standard basse énergie n'est pas atteint pour les cas 3.5 et 3.7 (graphe de droite) si on considère la surface occupée, mais ce standard est atteint quand on considère la surface totale qui a servi au dimensionnement (graphe de gauche). A la vitesse 3 correspondant à la norme le cas 3.6, au basse énergie, atteint 72.86 kWh/m².an !

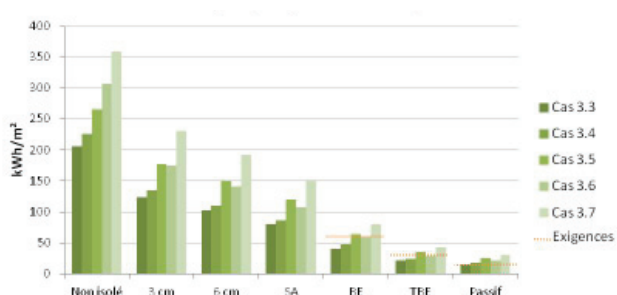
Il en va de même pour le standard très basse énergie.

Les valeurs des consommations varient beaucoup selon les différents modes d'occupation. De manière générale, suivant le graphe de gauche, plus le bâtiment est isolé, plus la différence entre les cas diminue. L'impact entre les comportements devient moins important et moins marqué. Sur le graphe de droite, on peut observer qu'un couple vivant dans une habitation avec 3cm d'isolation et ayant un comportement proche du cas 3.7 consomme autant que des gens qui vivent dans une maison non isolée, mais qui ont un comportement plus attentif. En général, si le bâtiment est très bien isolé, l'impact du comportement sera de moins en moins marqué. Mais par rapport aux mètres carrés chauffés, cet impact peut être proportionnellement plus élevé que l'impact du passage d'un niveau d'isolation vers un meilleur. Une très bonne isolation diminuera les conséquences de la négligence des gens ou de leur comportement énergivore, mais des différences, variables, mais pouvant atteindre en moyenne 30 % entre différents modes d'occupation restent énormes et sont donc facilement améliorables !

Les comportements plus négligents (comme les cas 3.6 et 3.7), mais garantissant un confort à tout instant, sont fort pratiques lorsque les habitants n'ont pas d'horaire très précis. Mais ces comportements peuvent engendrer une consommation allant du simple à presque le double. Ceci souligne l'équilibre très faible entre le confort optimal et la bonne gestion de l'énergie. Si les personnes ont des horaires très variés, il est assez intéressant de pouvoir commander le système de chauffage et de ventilation à distance ce qui permet de déclencher la relance de ceux-ci afin d'assurer une température de confort à l'arrivée des occupants. Car le simple fait d'abaisser les températures la journée de 20°C à 16°C peut apporter une économie de plus ou moins 10% voire plus si on compare les cas 3.3 et 3.4.



Demandes de chaleur (kWh/m².an) du mode d'occupation 3 pour 7 niveaux d'isolation (la demande de chauffage est divisée par la surface totale de la maison (182m²)).



Demandes de chaleur (kWh/m².an) du mode d'occupation 3 pour 7 niveaux d'isolation (la demande de chauffage est divisée par la surface occupée (182, 138 ou 91 m²)).



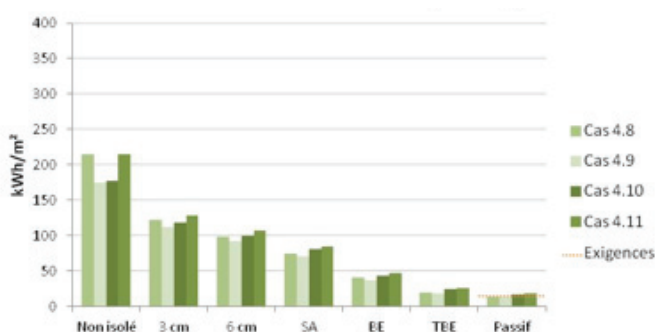
Une très bonne isolation est donc source de confort ! Elle permettra de réduire les conséquences de la négligence de personnes ou de leurs comportements énergivores. Mais la réduction des consommations reste et est donc bien souvent facilement améliorable!

Modes d'occupation 4 : couple de retraités peu actif

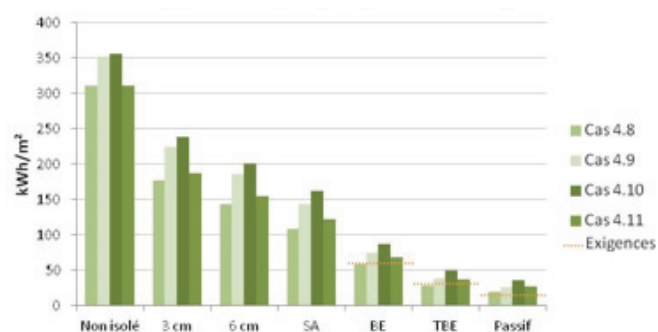


Le mode d'occupation relatif au « couple de retraités » peu actif et restant souvent à la maison durant la journée est plus énergivore, car la maison est plus souvent occupée ce qui implique plus de chauffage, de lumière, de temps de cuisson,... De plus, le confort thermique est la base même de la notion du confort des ménages âgés. Ce mode d'occupation réclame un grand besoin de chaleur qui est non négociable. Notons que les demandes de chaleur annoncées par les cas 4.8 et 4.9 sont faibles par rapport aux consommations réelles générées par les comportements de certains ménages de personnes âgées représentés par les cas 4.10 et 4.11. Dans certains ménages, la température de l'air intérieur peut être maintenue à, par exemple, 26 °C toute l'année au cours du jour et de la nuit.

Le fait de se cantonner dans une partie de la maison, ici le rez-de-chaussée, est énergétiquement plus intéressant. Du point de vue du graphe de gauche, si la maison n'est pas isolée, la différence entre les cas 4.8 (RDC + Etage partiellement occupé) et 4.9 (où seul le RDC est occupé) vaut 39.28 kWh/m².an (18.29%) (et 37.66 kWh/m².an (17.51%) entre les cas 4.10 et 4.11). Mais cette différence est seulement de 0.38 kWh/m².an (2.82%) au niveau du standard passif (et de 0.66kWh/m².an (3.6%) entre les cas 4.10 et 4.11).



Demandes de chaleur (kWh/m².an) du mode d'occupation 4 pour 7 niveaux d'isolation (la demande de chauffage est divisée par la surface totale de la maison (182m²)).



Demandes de chaleur (kWh/m².an) du mode d'occupation 4 pour 7 niveaux d'isolation (la demande de chauffage est divisée par la surface occupée (182, 138 ou 91 m²)).

Du point de vue du graphe de droite, les cas 4.8 et 4.9 ne se basent pas sur la même surface et le plus consommateur en terme de kWh par an est le cas 4.8 (138 m² chauffés) qui donne l'impression de consommer moins que le cas 4.9 (91 m² chauffés). Par contre, le cas 4.11 dont la surface de chauffe est plus petite (91 m² chauffés) que celle du cas 4.10 (138 m² chauffés), consomme

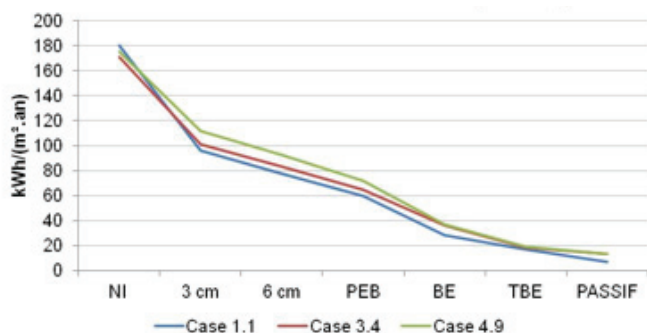
plus de kWh par an que celui-ci. Ceci illustre l'influence de la gestion du thermostat. De nouveau, l'impact du mode d'occupation en terme de kWh/m².an diminue plus le bâtiment est isolé.

Le passage à un niveau supérieur d'isolation du bâtiment représente toujours une bonne réduction des consommations.

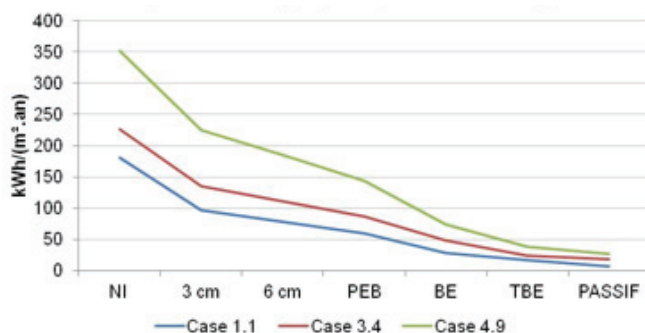
Comparaison entre 3 modes d'occupation opposés: synthèses

La comparaison entre les demandes de chauffages de 3 modes d'occupation opposés semble incontournable ! Les 3 cas sélectionnés sont les cas 1.1 (un couple actif avec des enfants travaillant à l'extérieur durant la journée pendant que leurs trois enfants vont à l'école), 3.4 (un couple actif sans enfants travaillant à l'extérieur durant la journée) et 4.9 (un couple de retraités, pas très actifs, restant beaucoup de leur temps chez eux et avec une température de confort élevée).

Plus le bâtiment est isolé, plus le mode d'occupation se fera ressentir. La comparaison des cas 1.1 et 3.4 (voir graphe de gauche) illustre cela, car les différences entre les demandes de chaleur augmentent plus l'enveloppe du bâtiment est isolée. Comme l'illustre le graphe de gauche, lorsque le bâtiment n'est pas isolé, le mode d'occupation le plus énergivore est celui de la famille avec les trois enfants. Mais par contre dès les premiers centimètres d'isolant jusqu'au niveau passif, ce mode d'occupation avec les enfants sera le plus économe au niveau du chauffage par rapport aux 2 autres. Ceci révèle également l'importance des gains internes dans les bâtiments très isolés pouvant être à l'origine de surchauffes.



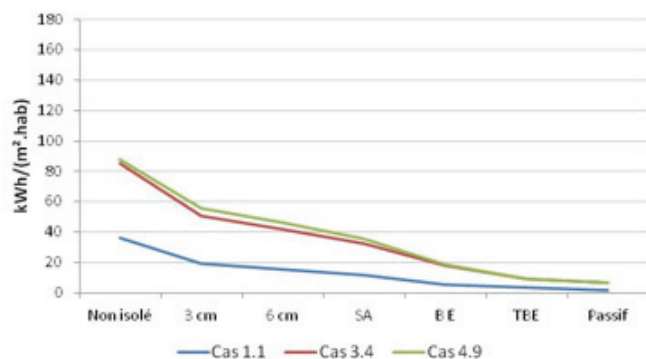
Demandes de chaleur (kWh/m².an) pour les cas 1.1, 3.4 et 4.9 pour 7 niveaux d'isolation (la demande de chauffage est divisée par la surface totale de la maison (182m²)).



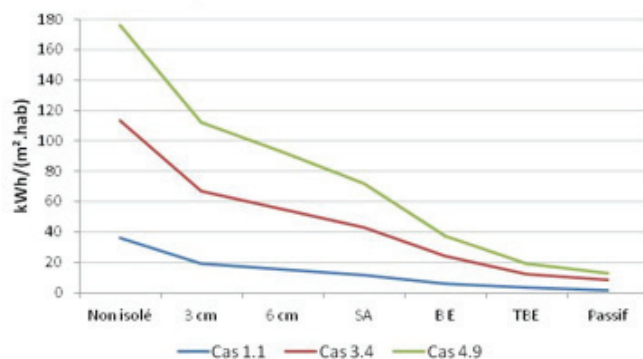
Demandes de chaleur (kWh/m².an) pour les cas 1.1, 3.4 et 4.9 pour 7 niveaux d'isolation (la demande de chauffage est divisée par la surface occupée (182, 138 ou 91 m²)).

Si on considère l'angle de vue du graphe de droite, où la demande de chaleur est proportionnelle à la surface occupée, là, les écarts entre les 3 cas étudiés sont plus importants. Les différences entre le cas 1.1 et le cas 3.4 augmentent toujours, mais plus faiblement. Le cas 1.1 apparaît encore comme le cas le plus intéressant à tout niveau d'isolation. Notons cependant les plus nombreux gains internes du cas 1.1 et sa gestion plus optimale du système de chauffage.

A titre d'illustration, les résultats peuvent être comparés en considérant les demandes de chaleur par habitant. Les deux graphes ci-dessous reprennent les valeurs de demandes de chauffage divisées par le nombre d'habitants pour les 3 cas considérés ici (5 personnes dans le cas 1.1, 2 personnes dans le cas 3.4 et 4.9).



Demandes de chaleur (kWh/m².hab.an) pour les cas 1.1, 3.4 et 4.9 pour 7 niveaux d'isolation (la demande de chauffage est divisée par la surface totale de la maison (182m²)).



Demandes de chaleur (kWh/m².hab.an) pour les cas 1.1, 3.4 et 4.9 pour 7 niveaux d'isolation (la demande de chauffage est divisée par la surface occupée (182, 138 ou 91 m²)).

Discussion

Ces résultats permettent à présent de discuter l'impact de ces différents modes d'occupation tout au long de la vie de la maison (ou durant son cycle de vie). En effet, les différents modes d'occupations étudiés sont susceptibles d'exister au cours de la vie d'une habitation où ils vont se succéder au cours de l'évolution d'une ou de plusieurs familles.

Afin d'évaluer l'impact du mode d'occupation sur la durée de vie de la maison, 4 hypothèses d'occupation de la maison étudiées ont été établies pour une période de 100 ans. Le tableau ci-dessous reprend 4 hypothèses d'occupation (H1, H2, H3, H4) où sont repris les totaux d'années de vie au cours desquelles la maison aura été occupée par un couple avec des enfants (Cas 1.1.), par un couple actif (Cas 3.4) et/ou par un couple de retraités (Cas 4.9). Par exemple, dans l'hypothèse H1, la maison a été occupée durant 45 ans en tout par une famille avec enfant, durant 30 ans en tout par un couple actif, sans enfants et durant 25 ans en tout par un couple de retraités.

Tableau 3 : Années d'occupation en fonction du mode d'occupation dans une maison avec un cycle de vie de 100 ans : 4 hypothèses

	H1	H2	H3	H4
Cas 1.1	45	25	60	25
Cas 3.4	30	50	25	55
Cas 4.9	25	25	15	20
Durée de vie de la maison	100	100	100	100

Le tableau ci-dessous résume les demandes de chaleur moyennes sur 100 ans, calculées pour les 4 scénarios d'occupation présentés dans le tableau précédent et divisés par la surface chauffée. Dans deux cas (H2 et H4), l'exigence du standard passif n'est pas atteinte.

Tableau 4 : Moyenne des demandes de chauffage (en kWh/m².an) d'une habitation sur sa vie (100 ans) en fonction des différentes hypothèses de son occupation présentée dans le Tableau 3.

	H1	H2	H3	H4
NI	237.09	246.37	217.55	240.08
3 cm	139.96	147.57	125.22	143.05
6cm	114.43	121.05	101.97	117.30
SA	88.59	93.91	78.83	91.03
BE	45.78	49.70	40.22	48.38
TBE	24.52	26.02	22.05	25.35
Passif	15.15	17.23	12.72	16.79

Si la taille des familles évolue au cours du temps, la taille des logements et leurs modes d'occupation pourraient également évoluer ou s'adapter au fur et à mesure. Cette stratégie d'adaptation permettrait de réduire les consommations de chauffage au cours du cycle de vie du bâtiment. Le but pourrait être de maximiser l'occupation de la maison en revenant d'une certaine manière à un mode approchant le mode « couple avec enfants ». Mais cela peut entraîner en contrepartie des travaux conséquents d'adaptation des lieux (cuisine supplémentaire, entrées indépendantes, etc.). L'isolation et les possibilités d'amélioration thermique du bâtiment doivent être prises en compte pour évaluer la meilleure option qui réponde aux besoins et aux différents types de confort de ses habitants.



Conclusion

Le mode d'occupation d'une maison dépend du nombre d'habitants, de l'âge de ces personnes, de leurs activités, de leur exigence du confort thermique et de la gestion de ce confort par leurs limites (thermiques, médicales, financières,...).

Ces analyses ont mis en évidence l'importance de la gestion du thermostat et des gains internes correspondants aux différents modes d'occupation, leur influence sur les demandes de chaleur pour les niveaux étudiés d'isolation et de l'importance de prendre en compte plusieurs types de ménages et des modes d'occupation dans les études thermiques.

Cette étude nous a permis de mettre en évidence que, moins le bâtiment est isolé, plus les consommations de chauffage sont influencées par la gestion du thermostat. Par contre, plus le bâtiment est isolé, plus les consommations de chauffage sont pro-



portionnellement influencées par le mode de vie notamment à travers les gains internes, même si l'impact en terme de kWh diminue. Ces résultats soulignent que le nombre d'habitants et leur présence dans la maison permettent de réduire les demandes de chauffage (par contre d'autres consommations sont susceptibles d'augmenter comme celles de l'eau par exemple). Toutefois, l'isolation est primordiale, et augmenter l'isolation de la maison donne toujours de meilleurs résultats qu'une simple adaptation du mode d'occupation.

En même temps, plus le bâtiment est isolé et plus le nombre d'habitants se révèle intéressant dans la balance énergétique. Et pour le bâtiment étudié, le modèle qui présente les plus basses demandes de chauffage est le couple actif avec enfants parce que le nombre d'habitants est beaucoup plus adapté à la taille de la maison. Ceci pousse à se focaliser sur les performances thermiques du bâtiment et cela d'autant plus qu'on ne peut pas être certain de maîtriser le mode d'occupation des futurs habitants. Car même en faisant le bilan des consommations sur la durée de vie du bâtiment, certains modes d'occupation peuvent faire pencher la balance de sorte que les exigences de départ ne soient pas atteintes (dépassement du critère déterminant du standard passif ou autres). L'équilibre entre un confort optimal au sens de l'habitant et une bonne gestion de l'énergie est très faible et, en particulier si les gens ont des horaires variables. Il est donc très intéressant d'avoir la possibilité de commander à distance le système de chauffage et/ou de ventilation afin de déclencher la relance du chauffage.

Cependant, aux vues des différences qu'il y a entre les modes d'occupation, la conscientisation des gens quant à leur mode de vie est essentielle pour améliorer facilement et rapidement les bilans énergétiques des maisons et des familles. L'amélioration de l'enveloppe thermique est une autre garantie, mais moins facilement applicable et généralisable, car elle prend plus de temps et demande des moyens financiers plus ou moins importants pour être réalisée.



Références

- De Herde A., M. Bodart [1994]. Les conclusions de Pléiade, Université catholique de Louvain, Architecture et Climat, 1994.
- Delmotte C. [2008] Réglementation sur la performance énergétique des bâtiments : du nouveau à Bruxelles et en Wallonie, Les Dossiers du CSTC, N° 4, Cahier n° 1, 2008.
- Feist W. [2008]. Logiciel de conception de maison passive 2007 PHPP2007, Passivhaus Institut, Darmstadt, novembre 2007.
- Hilderson W. et al. [2010]. Potential of Low Energy Housing Retrofit: insights from building stock analysis, W. Hilderson, E. Mlecnik, J. Cré, financé par la Politique Scientifique Fédérale, dans le cadre du « Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique », www.lehr.be, 2010.
- Poortinga W., Steg L., Vlek C., Wiersma G. [2003]. Household preferences for energy-saving measures : A conjoint analysis,





Journal of Economic Psychology 24, 49–64.

- Mettetal L. [2009]. La question énergétique dans l'habitat privé : le profil déterminant des ménages, Note rapide, n°476, IAU Ile-de-France, juin 2009.
- Mettetal L. [2009]. Les pratiques énergétiques des ménages du périurbain, Note rapide, n° 492, IAU Ile-de-France, novembre 2009.
- NORME NBN D50-001 [2008]. Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation, Bruxelles, NBN, 2008.
- NORME NBN B 62-002 [2008]. Performances thermiques de bâtiments. Calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) des composants et éléments de bâtiments. Calcul des coefficients de transfert de chaleur par transmission (valeur HT) et par ventilation (valeur Hv), Bruxelles, NBN, 2008.
- www.maisonpassive.be, May 2010.

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lemma.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be



Auteurs de la fiche

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain

T. de Meester et Prof. A. De Herde

Place du Levant, 1

1348 Louvain-La-Neuve

Tatiana.demeester@uclouvain.be

+32 10 47 23 34

<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public, chercheurs



Général, bâtiment, rénovation,
confort respiratoire



SAFE.BAT07

Les systèmes de ventilation hygiénique



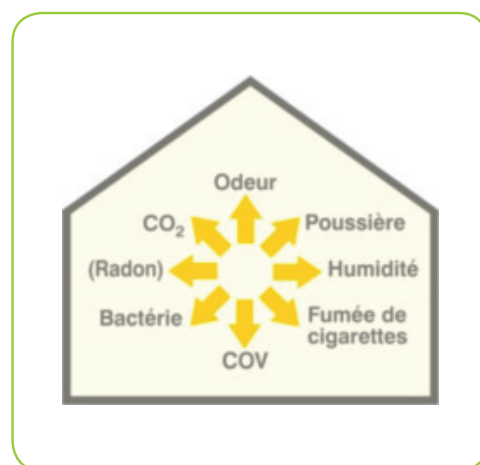
Points principaux

- Une ventilation hygiénique dans un logement est essentielle pour renouveler l'air vicié des pièces, si le bâtiment devient très étanche un système de ventilation mécanique permettra de contrôler précisément et de manière personnalisée l'apport d'air neuf afin de réguler et de minimiser les pertes par ventilation du bâtiment.
- Les 4 différents systèmes de ventilation sont présentés, leurs applications sont abordées en construction neuve et en rénovation.
- Les potentiels de réductions des demandes de chauffage en passant d'un type de ventilation à un autre sont illustrés au moyen de résultats de simulation mettant en valeur l'intérêt des systèmes de ventilation doubles flux avec récupérateur de chaleur.



Résumé

Une bonne ventilation hygiénique dans un logement est essentielle et permet de renouveler l'air vicié des pièces afin de maintenir une bonne qualité d'air à l'intérieur du logement et d'en évacuer l'humidité issue des activités quotidiennes des habitants. Dans un bâtiment, les pertes énergétiques sont dues principalement à trois interactions entre l'intérieur et l'extérieur : pertes par transmission (au travers des parois), pertes par ventilation, et pertes par les infiltrations d'air. Si le bâtiment devient très étanche, ces pertes diminuent et l'humidité s'accumule or cette dernière doit être absolument évacuée d'où l'intérêt d'introduire un système de ventilation. En rénovation il est à présent courant d'intégrer des ventilations mécaniques avec récupérateur de chaleur. Cette fiche fait le point sur les différents types de ventilation existant.



© José Flémal - Architecture et Climat

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Avril 2012



Les systèmes de ventilation hygiénique

Une bonne ventilation hygiénique dans un logement est essentielle et permet de renouveler l'air vicié des pièces afin de maintenir une bonne qualité d'air à l'intérieur du logement et d'en évacuer l'humidité issue de la vie quotidienne des habitants. Dans un bâtiment, les pertes énergétiques sont dues principalement à trois interactions entre l'intérieur et l'extérieur : les pertes par transmission (au travers des parois), les pertes par ventilation, et les pertes par les infiltrations d'air, non contrôlées. Si le bâtiment devient très étanche, ces pertes diminuent et l'humidité s'accumule or cette dernière doit être absolument évacuée d'où l'intérêt de sa prise en charge par un système de ventilation. Il existe 4 types de ventilation : la ventilation naturelle, la ventilation simple flux par pulsion mécanique, la ventilation simple flux par extraction mécanique et la ventilation double flux.

Le rôle de la ventilation

Les pertes par ventilation d'un bâtiment peuvent être très importantes d'où l'intérêt de bien choisir et maîtriser son mode de renouvellement de l'air qui devra remplir les fonctions suivantes :

- satisfaire les besoins en oxygène des occupants,
- évacuer la vapeur d'eau dégagée par les occupants et leurs activités,
- limiter la pollution intérieure (CO₂ et autres polluants intérieurs),
- améliorer le confort en éliminant odeurs et fumées.

Les différents systèmes de ventilation

Les débits de ventilation minimaux qui doivent pouvoir être assurés et qui garantissent la qualité de l'air d'un bâtiment résidentiel sont définis par la norme belge NBN D50-001 (norme européenne EN 13779), selon le type de local et sa surface. Ils ont été définis sur base de la concentration de polluants dans l'ambiance. Cette norme définit également les 4 systèmes de ventilation présentés ci-dessous dans le Tableau 1. Leur mise en œuvre conforme aux prescriptions de la norme est un gage de qualité de l'installation.



Tableau 1 : Les différents systèmes de ventilation [Energie +, 2010]

Système de ventilation*	Locaux de travail (bureaux, atelier) ou de vie (séjours, chambres)	Locaux humides (sanitaires, vestiaires, salles de bain, cuisine, ...)
Système A - Ventilation naturelle	Amenée d'air, par exemple par des grilles réglables dans les menuiseries.	Evacuation par des cheminées verticales.
Système B** - Ventilation simple flux par pulsion mécanique	Pulsion mécanique.	Evacuation par des cheminées verticales.
Système C - Ventilation simple flux par extraction mécanique	Amenée d'air par des grilles réglables (dans les menuiseries).	Extraction mécanique.
Système D - Ventilation double flux	Pulsion mécanique.	Extraction mécanique.

* Dénominations utilisées dans le logement

** Rarement mis en œuvre, car plus contraignant que le système C (passage de gaines et de cheminées).

Le récupérateur de chaleur

Plus l'isolation thermique et l'étanchéité seront efficaces, plus grande sera la proportion de perte énergétique par ventilation par rapport aux pertes par transmissions. Afin de remédier à cela, il est donc utile de prévoir un récupérateur de chaleur associé à la ventilation mécanique double flux. Le rendement de l'échangeur de chaleur ou récupérateur de chaleur se définit par le pourcentage de l'énergie récupérée, et transmise de l'air extrait du bâtiment à l'air frais pulsé. Les rendements annoncés sont aux alentours de 85% et peuvent atteindre 95% pour les échangeurs à plaques [Massart C., 2010]. Notons qu'une bonne étanchéité à l'air est requise pour assurer l'efficacité d'un système de ventilation avec récupérateur de chaleur ($\eta_{50} \leq 1 \text{ h-1}$) [Massart C., 2010]. La figure ci-dessous illustre le principe d'un échangeur de chaleur et du by-pass qui lui est associé.

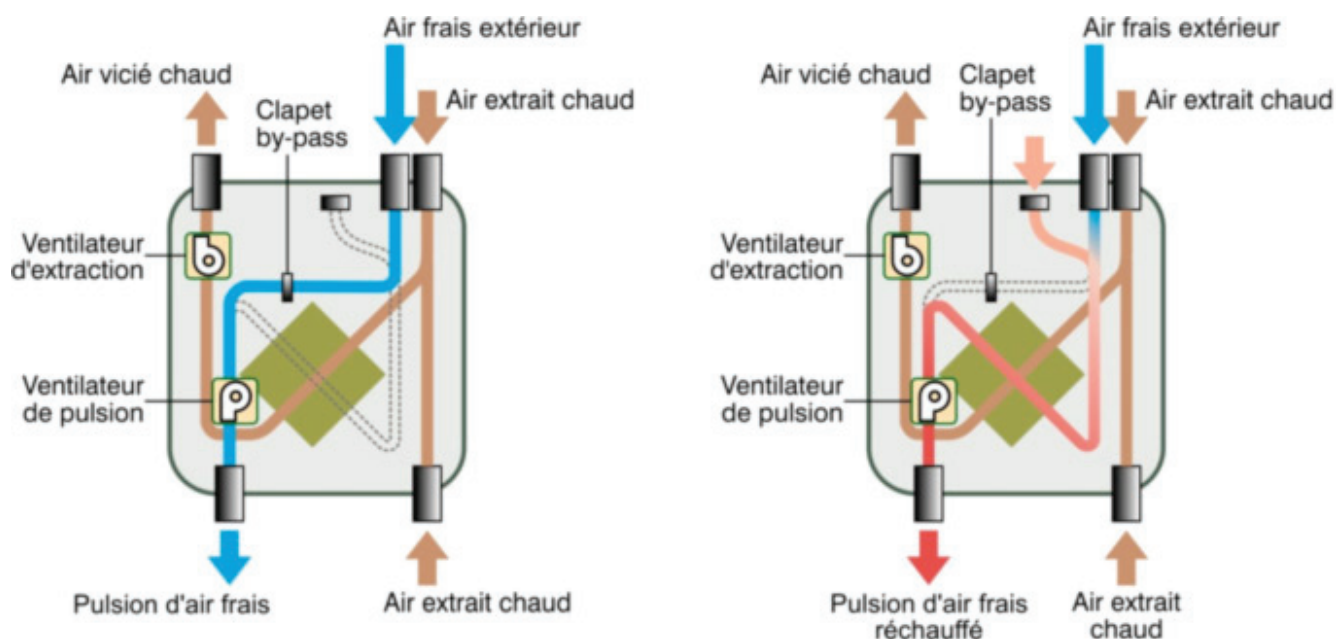


Figure1 : Fonctionnement d'un échangeur : passage de l'air dans le by-pass ou dans l'échangeur [Massart C., 2010]

Chauffer ou refroidir au moyen de la ventilation ?

Chauffer un bâtiment au moyen de l'air de ventilation demande un débit élevé cependant, pour des niveaux «très basse énergie» ou «passif», cela est tout à fait envisageable. En atteignant un niveau d'isolation «basse énergie» ($\leq 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{an})$), il semble difficile de chauffer uniquement par la ventilation dès lors, un système de chauffage sera toujours nécessaire (radiateurs ou autres) et selon les projets, il sera possible de le réduire.

Dans les logements, le recours à la climatisation peut être évité par une bonne conception du bâtiment et des occupants responsables. Il faut savoir mettre en place :

- une ventilation intensive couplée à une forte inertie et des protections solaires, ce qui améliore sensiblement le confort d'été
- de bonnes habitudes : ouvrir les fenêtres la nuit en été et les refermer la journée si la température extérieure est plus élevée qu'à l'intérieur, utiliser les protections solaires avant que la surchauffe ne s'installe.



La ventilation en construction neuve et en rénovation

L'utilisation de systèmes mécaniques, système C ou système D, est à privilégier, mais la ventilation naturelle est envisageable jusqu'à +/- K30 sous certaines conditions. Car une ventilation naturelle n'est plus un choix logique lorsqu'un bâtiment est fortement isolé. Il est donc possible d'atteindre un niveau performant d'isolation (le niveau basse énergie, par exemple) sans pour autant passer par un système de ventilation mécanique. Tout dépend des efforts déployés ailleurs. D'ailleurs en dessous d'un certain niveau d'isolation, la ventilation reste manuelle, car il n'y a aucun intérêt à installer une ventilation mécanique qui serait d'ailleurs perturbée par des contre-courants dus aux infiltrations d'air dans le bâtiment.

Cependant, à l'heure actuelle la ventilation mécanique double flux avec récupérateur de chaleur est devenue quasi incontournable en construction : 65% des nouvelles constructions sont munies de ce type de ventilation [Langendries D. et al., 2008]. Cet engouement pour la ventilation double flux avec récupérateur de chaleur s'explique par l'impact très positif qu'elle produit sur la consommation, par le confort et la qualité de l'air qu'elle procure et par les primes. La Figure 2 reprend l'évolution des différents types de ventilation sur le marché pour les constructions neuves de septembre 2004 à septembre 2008.

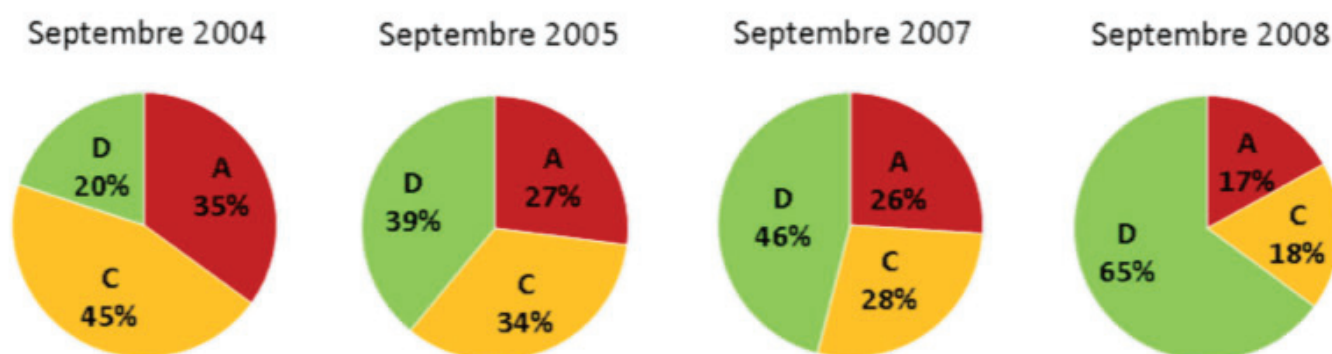


Figure 2 : Evolution des différents types de ventilation sur le marché pour les constructions neuves de septembre 2004 à septembre 2008 [Langendries D. et al., 2008].

En rénovation, il n'est pas toujours possible d'intégrer une ventilation double-flux (système D), car cela implique :

- une entrée/sortie d'air et un groupe de pulsion/extraction d'air (+ le by-pass du récupérateur)
- l'intégration de gaines et conduits à travers le bâtiment
- des bouches de pulsion et d'extraction



Illustration de l'impact des différents systèmes de ventilation

A partir d'un certain niveau de performance de l'enveloppe, le recours à une ventilation mécanique devient indispensable. Le standard passif ne pourrait être atteint sans l'emploi d'une ventilation double flux avec récupérateur de chaleur. Mais il n'est pas nécessaire d'atteindre de telles performances pour que ce système de ventilation démontre son efficacité. En effet, la ventilation joue un rôle incontournable dans la gestion de l'énergie d'un bâtiment qu'il paraît primordial d'en analyser les bénéfices. L'illustration de cet impact de la ventilation sur les demandes de chauffage d'une maison « 4 façades » permettra de mieux comprendre les différents systèmes de ventilation. La manière de dimensionner ces ventilations est explicitée en premier suivi par l'impact issu des résultats de simulations.

Comment est pris en compte et calculé la ventilation

La norme NBN D50-001 permet donc de déterminer les débits des ventilations des bâtiments étudiés. La ventilation est à la base même du confort respiratoire, car elle est la garante de la qualité de l'air. Plus un bâtiment est isolé, plus son enveloppe devient étanche à l'air et en l'absence de ventilation, l'air intérieur est de moins en moins renouvelé, le taux d'humidité augmente et finit par causer des dégâts importants (moisissures, détérioration des peintures, etc.). C'est donc la fonction de la pièce qui détermine son taux de ventilation.

Lors des simulations, la ventilation fonctionne lorsque les gens sont présents dans la maison (sauf contre indication). En effet la norme permet le dimensionnement des systèmes de ventilation, mais ne précise rien quant à la fréquence de leurs utilisations. Pour la modélisation des bâtiments, 3 types différents de ventilation ont été développée pour cette analyse : la A, la C et la D. [NBN D50-001, 2008, et C. Baltus et al., 2004]. La maison 4 façades a été analysée ici à 7 niveaux d'isolation: non isolée (NI), avec 3cm d'isolation en moyenne dans les parois (3cm), avec 6cm d'isolation en moyenne dans les parois (6cm), correspondant au standard belge actuel (SA), au standard de rénovation « basse énergie » (BE), au standard de rénovation « très basse énergie » (TBE) et au standard passif (SP). Voici comment ont été modélisés les différents systèmes :

Système A : pulsion et extraction manuelle

L'ouverture des fenêtres a lieu entre 17h et 18h. Cette ouverture correspond à 30% de la surface de la fenêtre. Chaque bâtiment est donc aéré en fonction de la taille de ses fenêtres et non d'un volume fixé par un renouvellement type du volume d'air de la pièce.

Système C : pulsion manuelle et extraction mécanique

Elle a été calculée selon la norme D50-001. Les systèmes de ventilation mécanique doivent posséder trois positions pour régler la vitesse du débit. Deux débits ont été systématiquement analysés : le débit correspondant aux exigences de la norme dont la





vitesse est la plus grande (la vitesse 3) et le débit correspondant à la position 1 qui est la vitesse la plus faible (la vitesse 1). Il ressort de discussions avec des personnes de terrain que la vitesse 3 est peu utilisée dans la pratique, mais que la vitesse de référence est la vitesse 1 et parfois, les autres vitesses sont enclenchées ponctuellement. La norme D50-001 ne précise pas les horaires de fonctionnement de la ventilation. Ils ont été fixés pour fonctionner lorsque l'habitation est occupée.

Système D : pulsion et extraction mécanique

Tout comme le système C, cette ventilation a été calculée selon la norme D50-001. Les systèmes D doivent également posséder trois positions pour régler la vitesse du débit. Deux débits ont été systématiquement analysés (voir ci-dessus car principes identiques au système C).

La différence de modélisation entre les systèmes C et D réside dans la présence d'un récupérateur de chaleur (d'un rendement de 85%) pour le système D qui va permettre de diminuer de manière importante les consommations.

L'impact des ces différents types de ventilation sur les demandes de chauffage

L'étude présente les résultats des simulations pour ce bâtiment dont les demandes de chauffages sont analysées en fonction de 3 différents systèmes de ventilation : le système A, C et D. Le Tableau 2 qui suit développe les réductions de consommation des différents types de ventilation A, C et D (en %) pour le standard belge actuel (SA), le niveau « basse énergie » (BE) et le standard passif (SP).

Tableau 2 : Réduction des demandes de chauffage annuelles entre différents types de ventilation A, C et D (en %) dans le cas d'une maison « 4 façades ».

Réduction des demandes de chauffage entre :		SA	BE	SP
A	les vitesses 1 et 3 du système C	30.56	40.23	56.54
B	les vitesses 1 et 3 du système D	7.29	11.76	26
C	le système C et le système D avec récupérateur de chaleur (vitesse 1) ou l'impact récupérateur de chaleur	18.32	27.69	51.23
D	le système C et le système D avec récupérateur de chaleur (vitesse 3) ou l'impact récupérateur de chaleur	38.83	51.02	71.35
E	la ventilation système C (vitesse 1) par rapport à la ventilation système A	26.93	36.05	51.86
F	la ventilation système C (vitesse 3) par rapport à la ventilation système A	4.97	6.54	9.72
G	la ventilation système D avec récupérateur de chaleur (vitesse 1) et la ventilation système A	40.32	53.76	76.52
H	la ventilation système D avec récupérateur de chaleur (vitesse 3) et la ventilation système A	35.63	47.59	68.27

Plus un bâtiment est isolé, plus le passage d'un système de ventilation à un autre aura un impact important. Cependant en fonction de la morphologie du bâtiment, selon que les fenêtres soit grandes ou non et que les gens aèrent fréquemment ou non, le système A peut être plus intéressant que le système C vitesse 3 voire parfois même que le système C vitesse 1 (ligne E et F du tableau). Le système A ne garantit pas un confort respiratoire régulier, car il dépend entièrement de la gestion des habitants et de leur comportement. De ce fait, ce système est difficile à modéliser. Le système A optimal devrait correspondre au système C c'est-à-dire qu'il répondrait au confort respiratoire au sens de la norme. Au sein du système C, l'usage de la vitesse 1 est clairement plus avantageux que celle de la vitesse 3. Cette différence des vitesses a d'ailleurs plus d'impact au niveau du système C qu'au niveau du système D grâce au récupérateur de chaleur.

L'intérêt d'une ventilation D avec récupérateur de chaleur est très clairement démontré (ligne C et D) où rien que l'ajout du récupérateur de chaleur permet une réduction des consommations pouvant aller jusqu'à des 70% avec une ventilation de vitesse 3 et jusqu'à 50% en vitesse 1. Le récupérateur de chaleur est très clairement incontournable.

Si l'étude du système A peut paraître étrange pour des niveaux de performances «basse énergie», «très basse énergie» et «passif», elle reste du moins informative, car il arrive que dans certains cas, des habitants bouchent les bouches de ventilation pour une raison quelconque. Il s'agit de cas rares mais envisageables si les personnes n'ont pas été préparées à une bonne gestion de la ventilation qui apporte normalement un plus haut niveau du confort thermique et respiratoire. L'image ci-dessous montre l'impact de ces ventilations directement au niveau des demandes de chauffages.

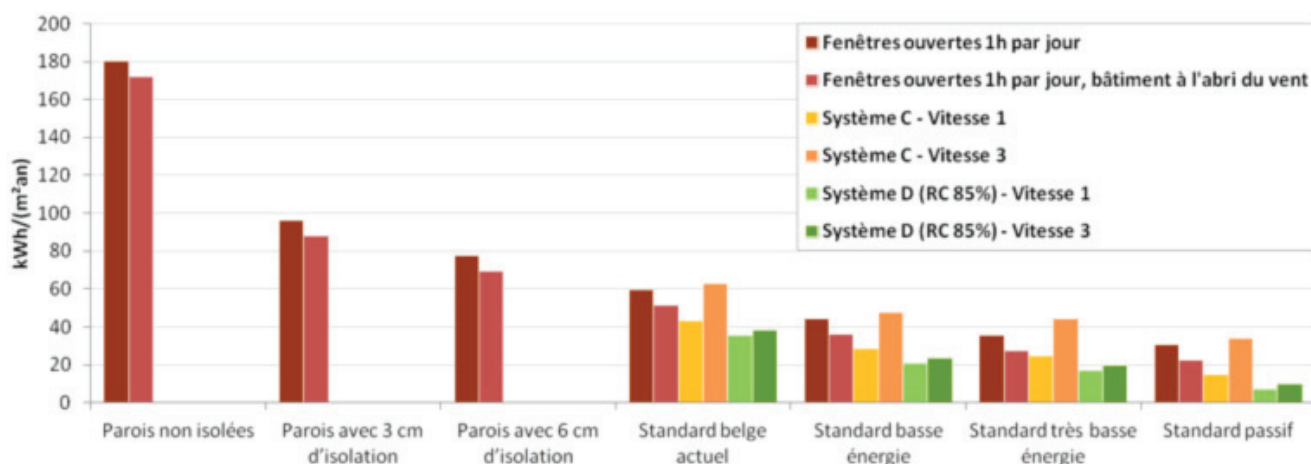


Figure 3 : Demande de chauffage en kWh/m².an d'une maison « 4 façades » à travers 7 niveaux de performance de l'enveloppe et en fonction de différents systèmes de ventilation.



Conclusion

Une bonne gestion de la ventilation des espaces de vie est essentielle pour garantir un bon confort respiratoire. L'intégration de ventilation mécanique double flux avec récupérateur de chaleur dans un bâtiment correctement isolé est très clairement un atout tant en terme d'économie d'énergie, de confort et de maintien de la qualité de l'air. L'intégration en rénovation est envisageable pour autant que l'enveloppe soit un minimum étanche.



Références

- Baltus C. et al. [2004]. Guide pratique pour les installateurs de techniques spéciales (électriciens, chauffagistes, sanitaristes), La ventilation mécanique des habitations, Ministère de la Région wallonne, C. Baltus et J.-M. Guillemeau, Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'Energie, Editeur responsable : E. Devos, Bruxelles, 2004.
- Energie+ [2010]. Conception et rénovation des bâtiments tertiaires, Architecture et climat, Université Catholique de Louvain, version 6, 2010.
- Langendries D., J.-M. Hauglustaine, F. Renard [2008]. Présentation Construire avec l'énergie, Au tournant de la PEB, CSTC-CCW-FPMs-IFAPME-UCL-ULg, Louvain-la-Neuve, Mai 2008.
- Massart C., De Herde A. [2010]. Conception de maisons neuves durables, Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie, Architecture et Climat – UCL, financé par Service Public Wallonie DG04 Département de l'Energie et du Bâtiment durable, 2010.
- NBN, 2008. NORME NBN D50-001, Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation. Bruxelles.



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier :

- BAT03/ La rénovation : quelles démarches suivre ?
- BAT08/ Les systèmes et énergies renouvelables





Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lemma.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be



Auteurs de la fiche

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain

T. de Meester et Prof. A. De Herde

Place du Levant, 1

1348 Louvain-La-Neuve

Tatiana.demeester@uclouvain.be

+32 10 47 23 34

<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>



Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public



Général, système, énergies renouvelables, bâtiment, rénovation



SAFE.BAT08

Les systèmes et énergies renouvelables



Les points principaux

- Le choix de systèmes de chauffage performant est une réflexion à mener une fois que tout le travail de conception du bâtiment a été effectué car il faut adapter les choix des systèmes et/ou énergies renouvelables en fonction des performances du bâtiment.
- En rénovation également, il faut en premier lieu favoriser les caractéristiques fixes ou passives de l'ordre de la conception avant de penser aux systèmes dynamiques (systèmes de ventilations performants, de production d'énergie ou de production d'énergies renouvelables, etc.).
- Le placement d'énergie renouvelable pour le chauffage du bâtiment demande bien souvent d'avoir une enveloppe relativement performante pour être réellement efficace.



Résumé

Cette fiche présente un bref aperçu des différents systèmes et des différentes énergies renouvelables applicables aux logements. En effet, l'intégration de systèmes et/ou d'énergies renouvelables lors de la construction d'une habitation doit donner lieu à une réflexion en fonction des demandes exactes d'énergie du bâtiment, des potentiels de l'implantation et du terrain, de la volonté d'investir dans des systèmes plus ou moins coûteux, etc. De même lors d'une rénovation une même réflexion devra souvent se développer suite à un travail de réisolation car si les performances du bâtiment sont améliorées énergétiquement, la demande de chauffage va également diminuer et cela peut influencer le remplacement ou non des systèmes déjà mis en place. Cette fiche aborde également les différents potentiels des énergies renouvelables : celles fournissant de la chaleur pour le chauffage des maisons, et de l'eau chaude sanitaire ou encore celles produisant de l'électricité.



© Photo: S. Rouche

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4, programme mobilisateur energywall

Avril 2012



Les systèmes et énergies renouvelables

Lors de la construction ou de rénovation, après avoir déterminé les objectifs de performance de l'enveloppe du (futur) bâtiment, vient le choix de l'intégration des systèmes et/ou des énergies renouvelables. Une réflexion en fonction des demandes exactes d'énergie du bâtiment doit être menée afin de déterminer les systèmes de chauffage et/ou énergies renouvelables qui sont les plus adaptés à la performance du bâtiment. Lors d'une rénovation, une même réflexion doit souvent se développer suite au travail de conception car si les performances du bâtiment sont améliorées énergétiquement, la demande de chauffage va également diminuer et le système en place risque de devenir surdimensionné. Les énergies renouvelables ont un potentiel pour fournir de la chaleur pour le chauffage des maisons et/ou pour l'eau chaude sanitaire ou encore pour produire de l'électricité.

Après la conception vient la réflexion sur le choix des systèmes

La réflexion relative aux systèmes dynamiques commence après le travail de conception car si les performances du bâtiment sont améliorées énergétiquement, sa demande de chauffage va également diminuer et cela peut influencer les choix du système à placer.

Dans un processus de rénovation, il faut donc favoriser les caractéristiques fixes ou passives de l'ordre de la conception qui sont :

- Généralement plus durables car il est rare de refaire des travaux sur l'enveloppe dans les décennies qui suivent la rénovation,
- Moins coûteuse, car mise en œuvre simple, matériaux simples, ...

Cela avant de penser aux systèmes dynamiques (systèmes de ventilations performants, de production d'énergie ou de production d'énergies renouvelables, etc.). Car, les technologies associées aux systèmes dynamiques demandent un entretien, une gestion, de l'énergie et elles peuvent « tomber en panne ».

Lors d'une construction neuve, une réflexion devra donc être menée en fonction des demandes exactes d'énergie du bâtiment et de la volonté d'investir dans les systèmes plus ou moins coûteux. Lors de lourdes rénovations, les installations techniques doivent le plus souvent être remplacées intégralement car elles ne répondent plus aux besoins du bâtiment rénové. C'est pour cela que la rénovation du bâtiment doit se faire avant les installations techniques dont le choix découlera de la rénovation de l'enveloppe et du niveau d'investissement souhaité dans le choix de systèmes plus ou moins coûteux. Une fois le bâtiment rénové, les mesures à appliquer sont sensiblement les mêmes que pour les nouvelles constructions.





Les systèmes comme producteurs de chaleur

Le chauffage

La qualité d'une installation de chauffage est définie par quatre éléments qui peuvent chacun être améliorés :

- le système de production de chaleur,
- la distribution,
- le système d'émission ou les corps de chauffe,
- la régulation.

De ces quatre éléments découle le rendement global (η_{global}) de l'installation de chauffage qui est le rapport entre les besoins réels en chauffage et la consommation annuelle :

$$\eta_{\text{global}} = \text{besoins réels [kWh]} / \text{consommation annuelle [kWh]}$$

Ce η_{global} est donc le reflet de toutes les pertes liées à l'installation de chauffage, il s'exprime en %, comme ceci : rendement global = rendement production x rendement distribution x rendement émission x rendement régulation (Energie+, 2010). Le tableau suivant présente un ordre de grandeur des différents rendements composant le rendement global et du rendement global en fonction du type d'installation.

Tableau1 : Ordre de grandeur de différents rendements en fonction du type d'installation (Energie+, 2010)

Type d'installation	$\eta_{\text{production}}$	$\eta_{\text{distribution}}$	$\eta_{\text{émission}}$	$\eta_{\text{régulation}}$	η_{global}
Ancienne chaudière surdimensionnée, longue boucle de distribution	75 .. 80 %	80 .. 85 %	90 .. 95 %	85 .. 90 %	46 .. 58 %
Ancienne chaudière bien dimensionnée, courte boucle de distribution	80 .. 85 %	90 .. 95 %	95 %	90 %	62 .. 69 %
Chaudière haut rendement, courte boucle de distribution, radiateurs isolés au dos, régulation par sonde extérieure, vannes thermostatiques, ...	90 .. 93 %	95 %	95 .. 98 %	95 %	77 .. 82 %

La rénovation des systèmes

Suite à une rénovation importante, il faudra déterminer si le système de chauffage devrait être changé, ou non. (Energie+, 2010 et de Meester, 2009)



Conserver le système de chauffe en place

Après des travaux d'isolation, l'émission de chaleur devient surdimensionnée. Cela va permettre de réduire les températures de chauffe ce qui garantit un meilleur rendement de l'installation. Par contre, la problématique d'un surdimensionnement trop important de la production de chaleur existante, est que l'installation ne permet plus une régulation efficace et confortable, (phénomène du « yoyo ») car elle n'est plus adaptée à la demande de chaleur et qu'elle n'est pas faite pour s'y adapter.

Exemple : Pour une très forte isolation mise en place avec soin, un poêle au bois traditionnel sera nettement surdimensionné, et engendrera rapidement des surchauffes.

Dans le cas d'une chaudière existante, il est bien sûr possible de procéder à toute une série d'améliorations comme améliorer le réglage de la combustion, la régulation du brûleur, la régulation en cascade des chaudières ou encore de diminuer la puissance du brûleur, de remplacer le brûleur, de colmater et de réisoler la chaudière, de diminuer la température de fonctionnement des chaudières. Mais parfois, et surtout après une rénovation assez importante de l'enveloppe, il est plus réaliste d'envisager le remplacement complet de la chaudière plutôt que tenter des améliorations partielles. Tout dépend évidemment de l'âge de la chaudière et de ses performances.

Les nouvelles technologies de chauffage

Le chauffage peut être un poste d'économie d'énergie important et le remplacement des chaudières ou l'amélioration de la régulation peut assurer de sérieuses économies. Surtout si cela s'effectue après l'isolation de l'enveloppe, ce qui permet de diminuer la puissance de la nouvelle chaudière.

Le remplacement d'une chaudière doit être intégré dans une réflexion globale (cheminée ?, régulation ?...). Cette réflexion est nécessaire si on veut que la nouvelle installation fonctionne de manière optimale. Il ne s'agit pas d'un simple échange standard avec une nouvelle chaudière de même puissance et plus moderne. Cette opération importante doit être l'occasion de repenser l'entièreté de l'installation de production et l'installation de régulation. Il n'est pas évident de trouver les critères de choix adéquats pour le remplacement d'une chaudière. En atteignant une performance inférieure ou égale, par exemple, à 60 kWh/(m².an) (niveau basse énergie), les émetteurs comme les radiateurs deviennent surdimensionnés par rapport à la nouvelle demande et ils permettent donc d'utiliser des systèmes de chauffage à basse température telles les chaudières basse (ou très basse) température, les pompes à chaleur, ...

Les installations de chauffage évoluent au fil du temps. Les innovations proposent actuellement des chaudières plus économes et respectueuses de l'environnement. Voici un aperçu des différentes technologies actuelles. (IBGE, 2007)

- Chaudières à condensation (mazout et gaz)
- Chaudières à basse température (mazout et gaz)
- Brûleur Low-NOx (mazout et gaz)
- Brûleur à air pulsé (gaz)
- ...



Comment améliorer la distribution

Afin d'améliorer le réseau de distribution, quatre interventions sont possibles (Energie +, 2010) :

- la limitation de la longueur des conduites (pas toujours possible en rénovation),
- l'isolation des conduites de distribution,
- l'équilibrage de la distribution (le placement de vannes thermostatiques, placement et réglage correct des vannes d'équilibrage, équilibrage de l'installation par des professionnels,...),
- la réduction du débit des circulateurs par la mise en œuvre de circulateurs modulants.

Comment améliorer les corps de chauffe

Plusieurs interventions sont possibles pour améliorer les corps de chauffe (Energie +, 2010) :

- garder les anciens radiateurs surdimensionnés en fonte ou autres matériaux qui peuvent fonctionner avec de l'eau à faible température (40 à 50°) et qui suffiront étant donné que la demande de chauffage a été limitée par l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment (parfois, élimination de certains corps de chauffage devenu surnuméraire)
- isoler les allèges derrière les radiateurs,
- dégager les corps de chauffe (dans une alcôve ou derrière un cache-radiateur, le radiateur ne fonctionne pas dans des conditions optimales),
- remplacer les corps de chauffe classiques (radiateurs) par des systèmes de rayonnement par le sol (chauffage à eau par le sol) sauf dans le cas d'une bonne orientation,
- diminuer la température des chauffages à air chaud.

L'eau chaude sanitaire

L'optimisation du système de production d'eau chaude sanitaire dépend fortement du système de chauffage existant. Il faut essayer de tendre vers la situation suivante (Energie +, 2010) :

- choix d'une position centrale pour la production voire décentralisée selon les cas,
- la limitation du volume de stockage avec une isolation maximale,
- la limitation des boucles de distribution avec une isolation maximale,
- le recours à une source d'énergie renouvelable, lorsque c'est faisable.

Il est avantageux pour limiter les pertes sur le réseau de distribution, de positionner la production de manière centrale, à proximité des points de puisage (cuisine et salle de bains) qui eux-mêmes doivent être regroupés l'une à côté de l'autre ou l'une au-dessus de l'autre. Si la salle de bain est très éloignée de la chaufferie centrale, un système décentralisé peut être envisagé afin de pro-



duire localement l'ECS par un système de production d'eau chaude par exemple à ventouse, s'il y a le gaz.

Dans les logements collectifs, certains points de puisage sont fortement éloignés de la production centrale, il faut favoriser une production décentralisée d'ECS, soit une production locale par appartement : chauffe-eau instantané au gaz ou accumulateurs électriques. Ceci permet d'augmenter le confort grâce à une diminution du temps d'attente et une diminution des pertes (pertes de l'eau chaude «qui reste» dans les tuyauteries). Ce poste important est relié à un appoint qui peut être au gaz naturel, au mazout et, en dernier recours, à l'électricité. Il est souvent relié au système du chauffage central.

Le chauffage de l'eau chaude sanitaire (ECS) devient, après une rénovation performante, un point clef de la consommation d'énergie du bâtiment. Pour pallier à cela, l'eau chaude sanitaire peut être couplée à des panneaux solaires thermiques pour préchauffer l'eau du boiler. (Voir plus loin)

Remarquons que la première économie d'énergie en matière d'eau chaude sanitaire est d'en limiter la consommation (pompeau de douche à débit réduit, par exemple).



Le potentiel des énergies renouvelables

Les énergies renouvelables deviennent davantage envisageables lorsque les besoins de chaleur diminuent. Si le niveau de performance énergétique d'un bâtiment est élevé, le système de chauffage pourra dépendre intégralement ou non d'énergie renouvelable. Ces énergies en pleines expansions offrent de plus en plus de possibilités. Nous en aborderons quelques-unes. (de Meester T., 2009)

La pompe à chaleur une solution pour le chauffage

Cette technologie est une solution envisageable pour un logement assez performant (à partir du basse énergie par exemple) car le besoin de chaleur est beaucoup moins important et il devient possible de valoriser la chaleur gratuite présente dans l'environnement. Dans le cas de rénovation, si on a pu réduire la puissance de chauffage par une bonne isolation les anciens radiateurs peuvent fonctionner avec une température d'eau de 50°C par -10°C extérieur ce qui les rend accessibles à la pompe à chaleur. Celle-ci peut également être combinée à un plancher chauffant.

Quatre grandes familles de pompe à chaleur existent. Notons que seule la première est la plus réaliste en rénovation.

Les pompes à chaleur aérothermiques

Les pompes à chaleur air/air ou encore air/eau (PAC aérothermique) sont davantage indiquées car elles sont moins chères et elles affichent d'assez bons rendements avec un COP saisonnier de +/- 2,5 - 3,5. La source froide est l'air extérieur ou l'air extrait du bâtiment (appelée VMC double flux thermodynamique) et elle se combine, à l'intérieur, soit avec une ventilation mécanique dans le cas air/air, soit avec un plancher chauffant ou des radiateurs. Elles peuvent donc être adaptées à des réseaux de distribution existants lors du remplacement d'une chaudière.





La géothermie horizontale

Ces pompes à chaleur, plus performantes que les précédentes, sont les sol/air ou sol/eau avec un COP saisonnier de +/- 3 - 4,5 mais ce sont également les plus chères. Elles nécessitent un raccordement à l'extérieur avec des sondes géothermiques horizontales (serpentins parcourant le jardin à +/- 1,5 m de profondeur) ou encore verticales. Notons qu'elles ne sont pas faciles à intégrer en rénovation car elles impliquent une rénovation lourde avec le retournement du jardin.

La géothermie verticale (+/- jusqu'à 100 m)

Le principe de la géothermie est toujours de valoriser les calories du sol ou de l'eau des nappes par le biais de réseaux de capteurs, de sondes ou de forages. L'avantage de ce système est de profiter d'une source de chaleur à une température à peu près constante tout au long de l'année mais la réalisation d'un forage exige un minimum de place et une bonne accessibilité. La mise en œuvre (coûts d'étude et de mise en œuvre) du système est assez coûteuse.

Les puits canadiens

Cette technique qui accompagne les systèmes de ventilation mécanique B ou D, consiste à préchauffer l'air de ventilation en hiver ou à le rafraîchir, en été, en le faisant passer dans un conduit enterré (sur 30 à 50 m à 2-4 m de profondeur). Les puits canadiens permettent une légère économie d'énergie supplémentaire (5-10% d'économie supplémentaire sur la consommation totale de chauffage). Il s'agit donc de mesures « de second ordre », d'autant plus que leur mise en œuvre est difficile en milieu urbain. Le puits améliore très peu l'efficacité énergétique de l'ensemble d'une installation de ventilation mécanique avec récupérateur de chaleur. Il faut placer tout le conduit dans la terre ce qui demande également beaucoup d'espaces et de faire attention à l'étanchéité à l'eau car un puits canadien non étanche est inutilisable.

Les « puits canadiens » de deuxième génération possèdent plus d'avantages. Il s'agit de tubes à eaux glycolées. Le principe est le même, dans ce cas c'est un serpentín rempli d'eaux glycolées qui parcourt le sol et qui va, au moyen d'un échangeur, préchauffer ou rafraîchir l'air entrant. Attention encore à l'intégration des puits canadiens en rénovation.

La biomasse une solution pour le chauffage

La biomasse regroupe un ensemble des matières organiques d'origine végétale ou animale comme le bois, le colza, les betteraves, les déchets agricoles et organiques des ménages, des entreprises agroalimentaires... ainsi que les gaz qui peuvent être captés dans les décharges. Ces matières organiques permettent la production d'énergie. En Belgique, la biomasse représente la première source d'énergie renouvelable. Cependant, cette solution n'est pas généralisable car il n'y a pas assez de biomasse pour que tout le parc immobilier soit chauffé à la biomasse.

Plusieurs systèmes existent comme les chaudières ou poêles à granulés de bois (ou pellets), les chaudières bois, ... Attention toutefois au stockage qui peut prendre beaucoup de place. Remarquons que les chaudières à granulés de bois (ou pellets) ont un bilan d'émission de CO₂ réduit. Ce combustible peut être considéré comme renouvelable, pour autant que la forêt dont le bois est issu soit gérée de manière durable et qu'elle soit proche.



Le solaire thermique

Les capteurs solaires thermiques permettent de chauffer un fluide circulant au travers d'eux. Ce fluide transmet sa chaleur à l'eau chaude utilisée dans le logement. Une chaudière de chauffage central branchée sur le ballon de stockage d'eau chaude (= ballon bi-énergie) ou un chauffe-eau instantané gaz situé en aval du ballon, ou des résistances électriques doivent assurer le relais en cas d'absence ou d'insuffisance de soleil. (IBGE, 2007)

Dans le cas des installations domestiques individuelles, l'installation est généralement dimensionnée pour couvrir 50 % à 60 % des besoins annuels en eau chaude. Dans le cas d'installations plus importantes (logement collectif par exemple), un optimum économique se situe souvent entre 20 et 40 %.

En rénovation, les capteurs peuvent être installés de plusieurs manières : montage en superposition de toiture lorsque la couverture de toiture est conservée, montage intégré à la toiture lorsque la couverture de toiture est remplacée ou encore montage sur terrasse ou toiture plate.

L'orientation optimale est idéalement entre le sud-est et le sud-ouest : optimale, orientée au sud et l'inclinaison optimale est de 25 à 60° par rapport à l'horizontale : optimum à 35° en été et à 50-60 ° en hiver.

Attention aux éventuelles ombres portées par l'environnement !

Les principaux types de capteurs sont les capteurs plans (les plus connus) et les capteurs tubes sous vide. Les capteurs à tubes sous vide ont un meilleur rendement que les capteurs plans surtout en hiver. Evidemment, ce type de capteur est plus onéreux.

La qualité d'une installation solaire dépend de la qualité des capteurs mais aussi du dimensionnement de l'installation. On dimensionne en général le stockage solaire en prévoyant 50 à 80 l par m² de capteur et de 1,3 à 1,7 fois la consommation journalière d'eau chaude (30 l à 60°C par jour par personne en moyenne). Ci-dessous des exemples d'installation domestique visant l'optimum technico-économique (source : Soltherm) :

Pour un ménage de *	Surface de capteurs	Volume de stockage	Energie produite **	Energie économisée***
2 à 3 personnes	Env. 4 m ²	Env. 200 l	Env. 1 200 kWh/an	Env. 1600 kWh/an
4 à 5 personnes	Env. 5 m ²	Env. 300 l	Env. 1600 kWh/an	Env. 2200 kWh/an
6 à 7 personnes	Env. 7 m ²	Env. 400 l	Env. 2300 kWh/an	Env. 3100 kWh/an

* pour une consommation d'eau chaude de 45 litres/pers/jour à 45°C.

** fraction solaire produite : 55 %.

*** avec un système d'appoint ayant un rendement annuel de 75 % (ex : chaudière avec ballon de stockage).

Un appoint reste nécessaire afin d'assurer de l'eau chaude en suffisance toute l'année. Il est donc nécessaire de prévoir un appoint qui peut être :



- une chaudière de chauffage central branché sur le ballon de stockage d'eau chaude (ballon bi-énergie).
- un boiler instantané gaz situé en aval du ballon.

Les appoints électriques sont à éviter vu le mauvais rendement moyen des centrales de production électrique et le prix élevé de l'électricité.

L'électricité

L'électricité verte est une possibilité mais sa production reste marginale face à la production des énergies nucléaires ou fossiles. Ces énergies solaires, géothermiques, éoliennes, marée-motrices, hydrauliques doivent encore être développées. Les énergies éoliennes et solaires sont des énergies non constantes et elles ne peuvent de ce fait, pas suffire. Des installations hydroélectriques peuvent être utilisées comme stockage d'énergie et comme tampons, amortissant par la, les creux ou pic de la production solaire ou éolienne. (de Meester T., 2010). Trois de ces énergies sont développées ici car elles peuvent être susceptibles de s'intégrer à des rénovations.

Le photovoltaïque

Les installations photovoltaïques permettent d'approvisionner en électricité, le réseau électrique du bâtiment et le réseau général en profitant de l'énergie du soleil. Il est possible aussi d'avoir recours à des batteries mais elles demandent une place de stockage, ont une faible durée de vie (6 ans), sont sources de pollution en fin de vie, et leur rendement est faible (perte de 50 % de la production). C'est pourquoi, il faut privilégier les systèmes en réseau ce qui, accessoirement, facilite le dimensionnement. (de Meester T., 2010)

La quantité d'énergie produite par une installation photovoltaïque dépend de plusieurs paramètres : la surface de l'installation, son orientation, l'inclinaison des cellules, l'intensité du rayonnement solaire (fonction de la période de la journée et de l'année), la couverture nuageuse, l'ombrage créé par des obstacles (à proscrire), la pollution de l'air, et le degré d'encrassement du capteur.

Les différents éléments à prendre en compte afin de définir la qualité des cellules photovoltaïques sont :

- Le rendement des cellules : des cellules monocristallines sont plus performantes que des cellules multicristallines qui sont elles-mêmes plus performantes que des cellules amorphes. Exemple : selon le type de cellule la puissance d'un module de 1 m² peut varier de 100 à 170 W sous un ensoleillement de 1000 W soit un rendement de 10 à 17 %).
- La pérennité des cellules : la plupart des fabricants de cellules au silicium cristallin garantissent un maintien du rendement de leur matériel à un minimum de 85 % du rendement nominal pendant 25 ans. Pour le silicium amorphe, les garanties sont plutôt de l'ordre de 15 ans.
- Les conditions de température des capteurs : si les cellules sont chaudes, le rendement diminue. De ce fait, un espace de 5 cm min doit être prévu sous le capteur pour assurer son refroidissement.
- ...



L'inclinaison et l'orientation vont influencer le rendement des cellules. Les positions offrant au moins 90 % du rendement optimal sont une orientation entre le SE et le SO. Une orientation sud et une inclinaison de 30 à 35° par rapport à l'horizontale offre un rendement maximum. Cependant, la position horizontale ou verticale et l'encrassement des capteurs doivent être évités en raison du faible rendement des cellules ainsi que le positionnement des cellules photovoltaïques dans l'ombre de bâtiments voisins, de la végétation, etc. En effet, en présence d'une ombre, une cellule photovoltaïque ne sait plus produire de courant et, dès que sa surface se trouve à l'ombre, le rendement des capteurs chute. Comme les cellules sont reliées entre elles en série, si le courant ne passe plus dans l'une d'elles, il ne circulera plus non plus dans les autres. Ces panneaux peuvent s'intégrer de diverses manières : posés dans le plan d'une toiture inclinée ou sur support en terrasse ou sur toiture plate mais aussi sous forme de tuiles ou d'ardoises (une perte de rendement est cependant causée par l'échauffement de l'espace entre les cellules et la sous toiture), sous forme de protections solaires, ...

La production d'électricité des capteurs est très inégalement répartie au long de l'année puisqu'elle varie de 0,6 kWh par jour en moyenne en décembre à 4,1 kWh en juin. Notons que 1m² de capteurs a une puissance maximale de 100 à 170 W sous 1000 W incident et a une production annuelle de 70 à 80 kWh/an. Le surplus de la production électrique sera revendu et injecté sur le réseau au moyen d'un compteur bidirectionnel auquel l'installation doit être raccordée. Celui-ci permet de comptabiliser l'énergie produite et d'obtenir les certificats verts.

La cogénération

La cogénération assure une production simultanée de l'énergie électrique et thermique. Cette production d'énergie électrique est réalisée par un moteur à gaz ou diesel ou bio combustible, par une turbine à gaz ou par une turbine à vapeur. La chaleur est récupérée dans le circuit de refroidissement du moteur et dans les gaz d'échappement. La chaleur est valorisée sous forme d'eau chaude envoyée dans le bâtiment. Illustration : en consommant 1000 kWh d'énergie primaire, une unité de cogénération au gaz, avec un rendement électrique de 35 % et un rendement thermique de 53 %, va produire 350 kWh d'électricité et 530 kWh de chaleur. Ce sont entre 15 et 20 % d'énergie primaire qui sont économisés par rapport à la production séparée de ces mêmes quantités de chaleur et d'électricité.

La cogénération s'adresse à des bâtiments ayant une consommation de chaleur importante et la plus continue possible durant l'année (ex : eau chaude sanitaire d'un hôpital). Elle peut être envisagée pour de grandes échelles comme celle d'un quartier. Lorsque le moteur thermique a une puissance inférieure à 50 kW, il s'agit de micro cogénération. Celle-ci est très attendue au niveau domestique... Le générateur produit de l'électricité qui peut être utilisée sur place ou revendue au réseau de distribution (+ certificats verts). Les dimensions d'une unité de cogénération, son niveau de bruit et ses émissions de gaz sont comparables à ceux d'une chaudière domestique. (de Meester T., 2010)

Les éoliennes

L'éolien présente un très grand potentiel de progression. Cependant, à plus long terme, avec les progrès technologiques et l'abaissement des coûts de production, le photovoltaïque pourrait prendre une part de plus en plus significative dans le panel énergétique wallon (<http://energie.wallonie.be>).



L'installation d'une éolienne représente un certain investissement qui est loin d'être négligeable (Energie +, 2010). Un projet d'implantation d'une ou plusieurs éoliennes doit être pertinent tant d'un point de vue environnemental qu'au niveau économique même si cela apporte une indépendance face à la fluctuation des prix des énergies fossiles. Notons que d'un point de vue de la rentabilité, il est intrinsèquement plus intéressant d'investir en commun dans un grand projet plutôt que de multiplier les initiatives séparées. L'implantation d'une ou plusieurs éoliennes doit satisfaire à une série de contraintes issues de domaines variés comme des contraintes urbanistiques, environnementales ou encore d'interaction avec les ondes électromagnétiques,... Il faut pouvoir répondre à toutes les contraintes et plus le projet est ambitieux en taille, plus les contraintes à respecter sont sévères ou plus la justification de leur respect doit être approfondie. A l'autre extrême, on trouve les projets de petites éoliennes où les contraintes sont relativement limitées.

Si l'objectif est de répondre à la demande d'électricité d'un ou plusieurs bâtiments, d'autres approches que l'éolien peuvent être pertinentes, voire prioritaires. Il faut avoir une idée claire sur la rentabilité de son projet et une parfaite maîtrise de sa consommation énergétique. Il faut donc aussi connaître les ressources d'énergie éolienne dont on dispose car la puissance instantanée du vent qui traverse la surface balayée par l'éolienne dépend du cube de la vitesse du vent (en amont de l'éolienne). Cela implique que si la vitesse double, la puissance instantanée du vent est multipliée par huit. L'éolienne dispose alors de huit fois plus de puissance de vent à convertir en électricité. D'où le grand intérêt de placer son éolienne sur un site venteux. La pertinence énergétique du projet dépend donc fortement du potentiel de vent du site d'implantation. En l'absence de sites venteux, d'autres sources d'énergies renouvelables seront peut-être plus indiquées



Conclusion

Le choix d'un système de chaleur et/ou d'énergies renouvelables est l'aboutissement d'une réflexion plus globale se basant sur la performance du bâtiment, sur les potentiels de l'implantation et du terrain, etc. Ce choix ne peut être optimal qu'à la condition de connaître les demandes exactes d'énergie du bâtiment. Il y a énormément de possibilités et de choix d'intégration de systèmes et/ou d'énergies renouvelables, et ce tant en construction neuve qu'en rénovation. Une installation peut se faire également en réseaux ou au niveau d'un quartier surtout quand les demandes de chauffage diminuent. Tous ces aspects relatifs aux systèmes seront développés au cours du projet SOLEN (Solutions for Low Energy Neighbourhoods) qui fait suite à ce projet de recherche SAFE.



Références

- de Meester T. [2009]. Guide de la rénovation basse énergie des logements en Belgique. LEHR, Low Energy Housing Retrofit- Low Energy Housing Retrofit, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain, financé par la Politique Scientifique Fédérale, dans le cadre du « Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique », www.lehr.be, 2009.
- Energie+ [2010]. Energie+ version 6, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain (Belgique) 2010, réalisé avec le soutien de la Wallonie - DGO4 - Département de l'Energie et du Bâtiment Durable. Disponible sur : <http://www.energieplus-lesite.be>
- IBGE [2007]. IBGE - Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, Infos fiches-éco-construction, (<http://www.ibg/ebim.be/>), 2007.
- Trachte S. [2009]. Advanced housing renovation with solar and conservation, IEA SHC TASK 37, SUBTASK D environmental, impact, assessment, Architecture et climat, Université Catholique de Louvain, 2009



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier :

- SAFE.BAT03 : La rénovation : quelles démarches suivre?
- SAFE.BAT07 : Les systèmes de ventilation hygiénique

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lema.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public



Général, système, énergies
renouvelables, bâtiment, rénovation



Auteurs de la fiche

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain

T. de Meester et Prof. A. De Herde

Place du Levant, 1

1348 Louvain-La-Neuve

Tatiana.demeester@uclouvain.be

+32 10 47 23 34

<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public, chercheurs



Logement, quartier, efficacité
énergétique, cycle de vie



SAFE.BAT09

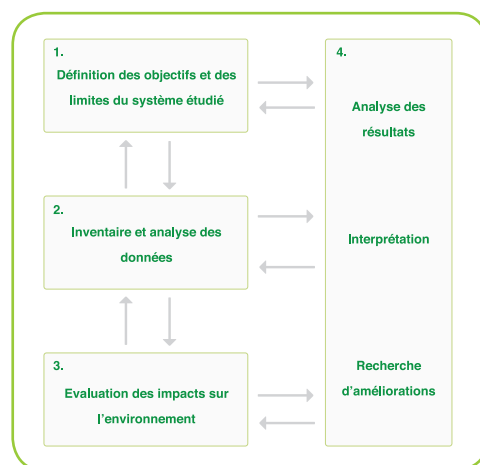
Les analyses en cycle de vie (ACV) : Introduction au cycle de vie des bâtiments

Le cycle de vie des bâtiments :

- Une analyse en cycle de vie (ACV) permet de quantifier les impacts environnementaux d'un produit (ici un bâtiment) du « berceau à la tombe »
- Quatre phases sont prises en compte : la construction du bâtiment, son utilisation, sa rénovation éventuelle et sa fin de vie
- La phase d'utilisation est celle qui a le plus d'impact sur la durée de vie du bâtiment.
- L'ACV permet notamment de comparer les impacts environnementaux de différentes variantes d'un système, sur toute la durée de son cycle de vie.

Résumé

L'analyse en cycle de vie (ACV) est un outil développé initialement pour l'industrie. L'ACV a pour but de quantifier les impacts d'un produit, bien ou service depuis l'extraction des matières premières qui sont nécessaires à sa fabrication jusqu'à son élimination en fin de vie en passant par la phase d'utilisation (« du berceau à la tombe »). La série de normes ISO 14040 et 14044 décrit la méthodologie et la déontologie que doivent respecter les études ACV. Cette fiche propose une introduction à l'analyse en cycle de vie appliquée au bâtiment ainsi que les spécificités et limites de cette approche. Une analyse en cycle de vie d'un bâtiment périurbain type est proposé afin d'illustrer ces propos.



Les 4 étapes d'une analyse en cycle de vie
© www.safe-energie.be

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Janvier 2012



L'analyse en cycle de vie d'un bâtiment : introduction

L'analyse en cycle de vie (ACV) est un outil développé initialement pour l'industrie. L'ACV a pour but de quantifier les impacts d'un produit, bien ou service depuis l'extraction des matières premières qui sont nécessaires à sa fabrication jusqu'à son élimination en fin de vie en passant par la phase d'utilisation (« du berceau à la tombe »). L'ACV peut être appliquée à un bâtiment malgré des différences significatives avec les produits industriels (le bâtiment est par nature unique, durée de vie longue, etc.). L'ACV des bâtiments permet de mettre en évidence que c'est la phase d'utilisation qui présente le plus d'impact. Cet outil est utile pour comparer les impacts environnementaux de différentes variantes d'un système, sur toute la durée de son cycle de vie.

Qu'est ce qu'une ACV

Dans le contexte de la montée en puissance de l'attention environnementale, l'analyse de cycle de vie (ACV) est devenue une partie indispensable du développement durable (Verbeeck et Hens, 2007). L'approche par analyse de cycle de vie (ACV) est ainsi adoptée le plus souvent au niveau international pour évaluer les impacts environnementaux d'un produit. Il s'agit de comptabiliser les substances émises et puisées dans l'environnement sur le cycle de vie d'un produit, depuis sa fabrication (y compris l'extraction des matières premières) jusqu'à sa fin de vie (y compris le traitement des déchets créés), en passant par toutes les étapes de son utilisation (« du berceau à la tombe »). L'ACV permet, via la quantification de l'ensemble des échanges physiques entre un système et son environnement, d'évaluer sa contribution à différents effets sur l'environnement, de préciser et d'explicitier les choix de réduction des impacts. En présentant des résultats détaillés, l'ACV donne des possibilités de modélisation qui permettent de rechercher les améliorations du bilan global, en tenant compte, en outre, des évaluations techniques, économiques et sociales. La série de normes ISO 14040 et 14044 décrit la méthodologie et la déontologie que doivent respecter les études ACV.

Une ACV se déroule en 4 étapes, selon un processus itératif (figure 1) :

- la définition des objectifs et des limites du système étudié
- l'inventaire ou collecte des données, notamment grâce aux bases de données existantes
- l'évaluation des impacts sur l'environnement
- l'interprétation et la recherche d'améliorations



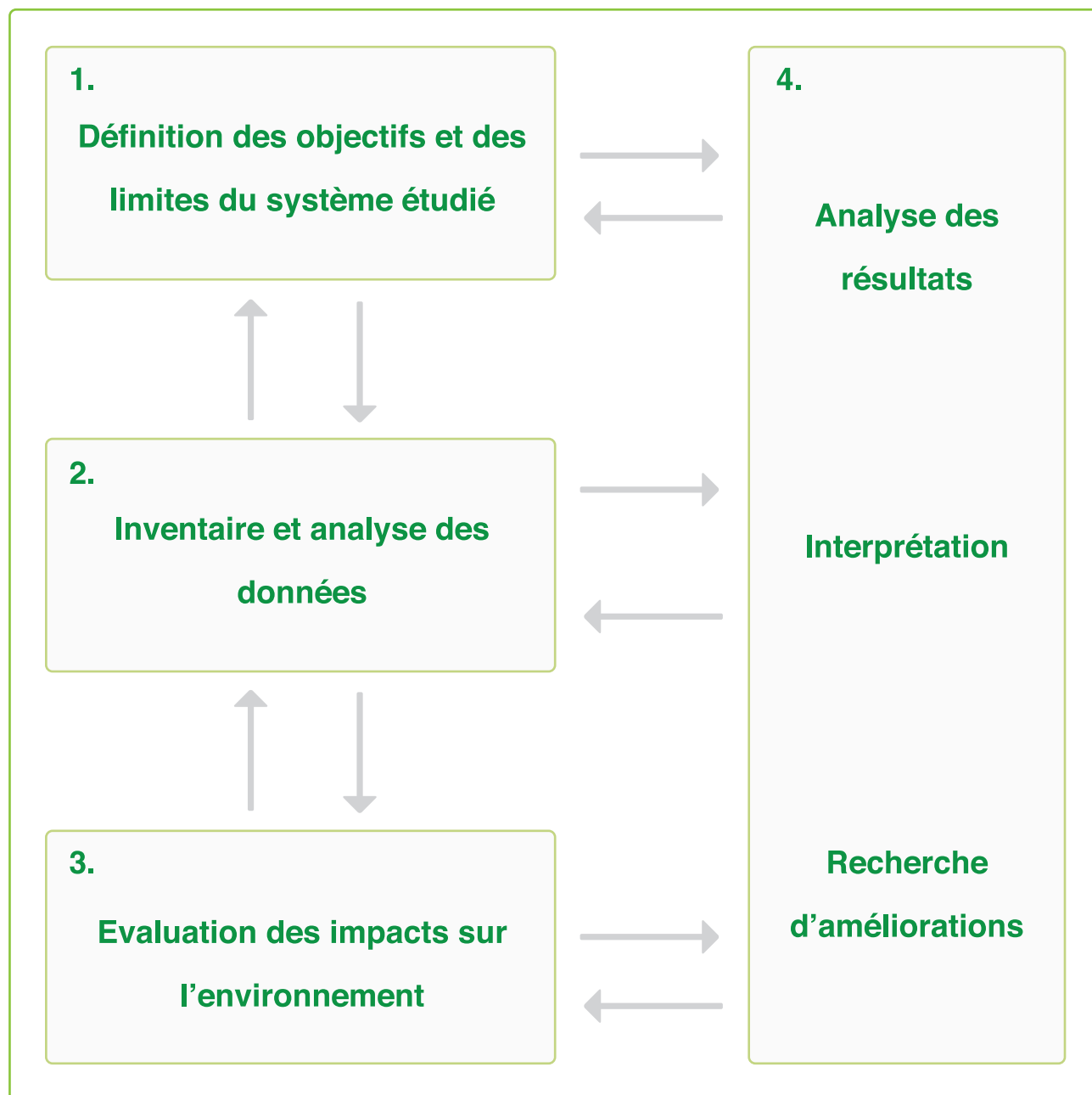


Figure 1 : Représentation schématique des 4 étapes d'une analyse en cycle de vie

Les limites principales des approches en cycle de vie portent sur l'absence de prise en compte d'aspects qualitatifs comme la qualité de vie ou l'esthétique, l'imprécision des évaluations des indicateurs (sur l'évaluation des flux et l'agrégation des effets), les erreurs liées à la période d'analyse (il est par exemple difficile de prévoir l'évolution des techniques constructives, méthodes de recyclage, etc. à moyen ou long terme), et l'incertitude qui pèse sur les données d'entrée nécessaires à l'évaluation.



L'ACV appliquée au bâtiment

L'analyse de cycle de vie a été élaborée en premier lieu pour des produits industriels. Son application au secteur du bâtiment doit donc s'effectuer de manière prudente : chaque bâtiment est en général unique, et entretien des liens forts tant avec le site dans lequel il s'insère qu'avec ses occupants (Peuportier et Polster, non daté). De plus, la stabilité dans le temps, sur laquelle repose l'analyse de cycle de vie est problématique dans le cas d'un bâtiment (durée de vie longue et modifications qui apparaissent pendant la durée de vie). Les analyses en cycle de vie des bâtiments ne sont en général pas certifiées ISO.

Les analyses de cycle de vie appliquées au bâtiment sont utiles pour (Reiter, 2010):

- Comparer deux systèmes sur la durée (totale ou partielle) de leur cycle de vie
- Comparer l'impact des différentes phases d'un même système
- Comparer un système et ses alternatives
- Comparer un système à une référence.



Exemple d'analyse en cycle de vie d'un bâtiment

L'outil

Le logiciel EQUER (www.izuba.fr) est un outil d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments. Il a pour but d'aider les acteurs à mieux cerner les conséquences de leurs choix. C'est un outil de simulation simplifiée qui permet de modéliser la construction, l'utilisation, le renouvellement des composants et la déconstruction d'un bâtiment, en tenant compte de la réutilisation et du recyclage éventuels. Le principe général suivi est d'améliorer la qualité de l'ambiance intérieure tout en réduisant les impacts environnementaux externes. L'objectif fonctionnel fixé est que le bâtiment doit permettre un certain nombre d'activités pour lesquels il est prévu, avec un certain niveau de confort, de qualité de vie, etc. puis il faut chercher à minimiser l'impact environnemental en comparant des variantes répondant aux exigences fonctionnelles énoncées. L'objet d'étude, l'unité fonctionnelle au sens de l'analyse de cycle de vie, est donc un bâtiment répondant à ces exigences et considéré sur une certaine durée.

Le champ d'analyse est élargi et permet des études plus globales : l'énergie, par exemple, n'est plus appréhendée comme une simple quantité de kWh mais selon une série de critères environnementaux, elle ne concerne pas que le chauffage et l'éclairage, d'autres aspects non liés à l'énergie, comme la gestion de l'eau sont pris en compte, etc. La méthode EQUER a été élaborée par une équipe comportant deux centres de recherches (le centre d'énergétique de l'école des mines et l'institut d'évaluation des risques industriels (INERIS)) et des professionnels de la construction. La base de données Oekoinventare (version 1996), aussi





connu sous le nom de Ecoinvent, et des données collectées dans le cadre du projet européen REGENER sont utilisées en ce qui concernent les impacts de fabrication des matériaux de construction et des autres procédés (Peuportier et Polster, non daté).

L'étude se réalise pour un bâtiment en particulier et les sorties se font sous forme d'éco-profil à 12 indicateurs environnementaux. Des aspects non liés à l'énergie (gestion de l'eau, matériaux de construction, transport, déchets.) sont aussi pris en compte. Le champ de l'analyse s'est donc véritablement élargi et permet des études plus globales (Peuportier, 2004).

Rappelons que la marge d'incertitude sur les données et les résultats d'une analyse en cycle de vie d'un bâtiment peut être élevée. Un premier niveau d'imprécision concerne l'évaluation des flux de matière et d'énergie (données de l'inventaire). Un deuxième niveau concerne l'agrégation en effets (impacts potentiels). Enfin, une autre cause d'imprécisions est liée à la durée de la période d'analyse. Il est en effet difficile de prévoir l'évolution des techniques dans les 100 prochaines années (par exemple, en ce qui concerne le traitement des déchets après la démolition d'un bâtiment). Les résultats proposés pour l'analyse en cycle de vie doivent ainsi être étudiés avec précaution et interprétés par comparaison entre variantes.

Les hypothèses

Les données d'entrée nécessaires à l'analyse de cycle de vie d'un bâtiment dans EQUER sont structurées en 5 thèmes principaux: les matériaux de construction, l'énergie, l'eau, les déchets et le transport des occupants (non considéré dans les simulations qui suivent). La durée du cycle de vie du bâtiment est fixée à 80 ans.

Concernant les matériaux de construction, les données additionnelles sont : 5% de surplus de matériau en phase de chantier, une durée de vie des châssis et fenêtres de 30 ans, une durée de vie des revêtements de 15 ans, 50 kilomètres entre le site de fabrication et le chantier et 50 kilomètres entre le chantier et la décharge en fin de vie.

Les besoins en chauffage de l'enveloppe calculés dans un logiciel de simulations thermiques dynamiques (Pleiades+Comfie) sont importés dans le logiciel EQUER. Le mix de production d'électricité de base pour la Belgique est appliqué (78% nucléaire, 13% de gaz naturel, 7% d'énergie renouvelable, 5% de coke et charbon, 2% de pétrole (Cellule Etat de l'Environnement, 2008)). Le gaz naturel est utilisé pour le chauffage et le chauffage de l'eau chaude sanitaire. Des consommations additionnelles d'électricité et de chauffage sont spécifiées (équipement électrique, etc.).

Le rendement du réseau d'eau, qui dépend des fuites dans les canalisations d'eau potable est fixé à 80%. La consommation en

eau froide s'élève à 90 litres par personne et par jour et celle en eau chaude à 40 litres par personne et par jour (moyenne wallonne (Cellule Etat de l'Environnement, 2008).

La collecte sélective du verre et du papier est prise en compte (50% de collecte). 50% des déchets sont incinérés sans valorisation énergétique. La quantité de déchets journaliers est fixée à 900 grammes par personne (Cellule Etat de l'Environnement, 2008).

L'objet de l'analyse

L'unité fonctionnelle de l'ACV est une maison unifamiliale de type « 4 façades » (figures 2 et 3)

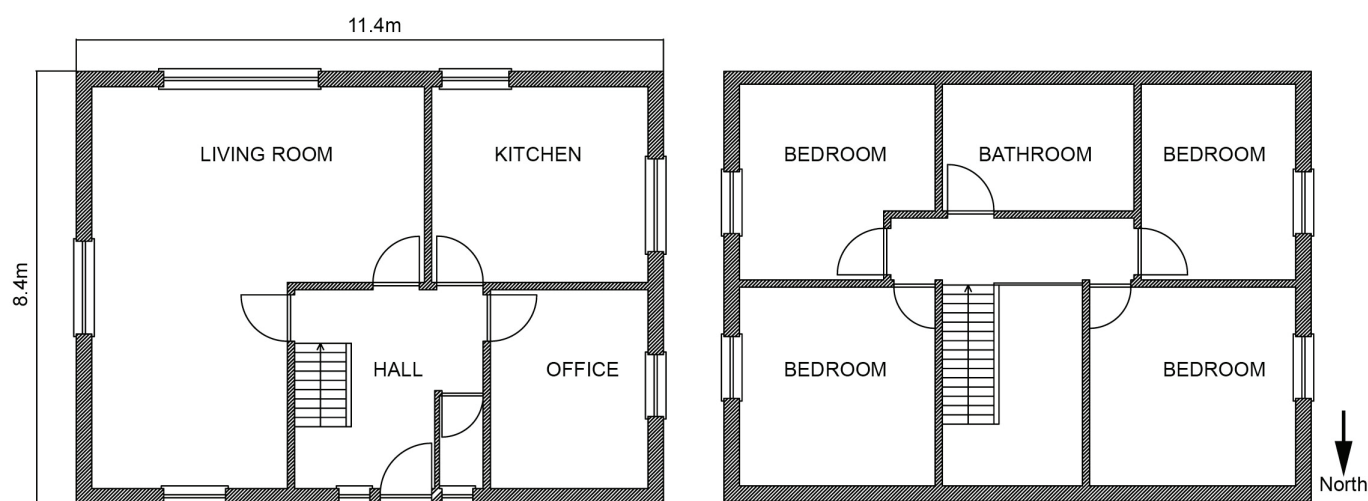


Figure 2 : Plan du rez-de-chaussée et de l'étage de la maison de référence

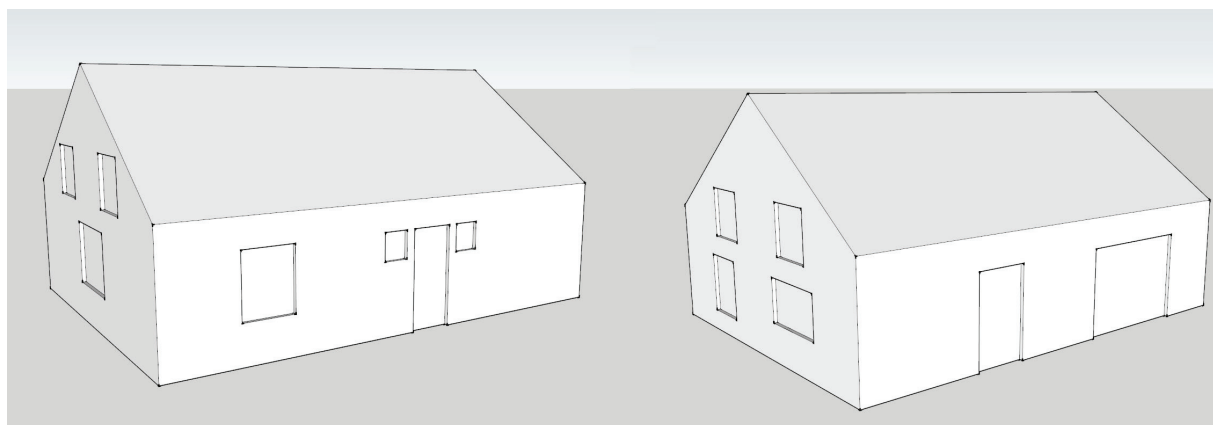


Figure 3 : Modélisation 3D

Trois variantes d'isolation sont comparées : une variante sans isolation, une variante avec une isolation légère dans les murs (3cm), toitures (6cm) et dalles de sol (3cm) et une variante avec une isolation plus importante (standard en vigueur pour les nouvelles constructions entre 1996 et 2008 en Région wallonne).

Les résultats

En ce qui concerne le critère énergétique (un des 12 impacts environnementaux évalués grâce au logiciel EQUER), la phase d'utilisation est, de loin, celle qui présente les consommations les plus importantes sur tout le cycle de vie du bâtiment, et ce, quelque soit la variante testée (sans isolation, avec isolation légère ou avec isolation standard), avec une légère tendance à la baisse si l'isolation augmente (97,9% du bilan global pour la variante sans isolation, 96,5% pour la variante avec isolation légère et 95,9% pour la variante avec isolation standard). L'impact relatif de la phase d'utilisation diminue pour des périodes d'analyse plus courte mais reste très important (92,4% pour un cycle de vie de 40 ans et 90,6% pour un cycle de vie de 30 ans).

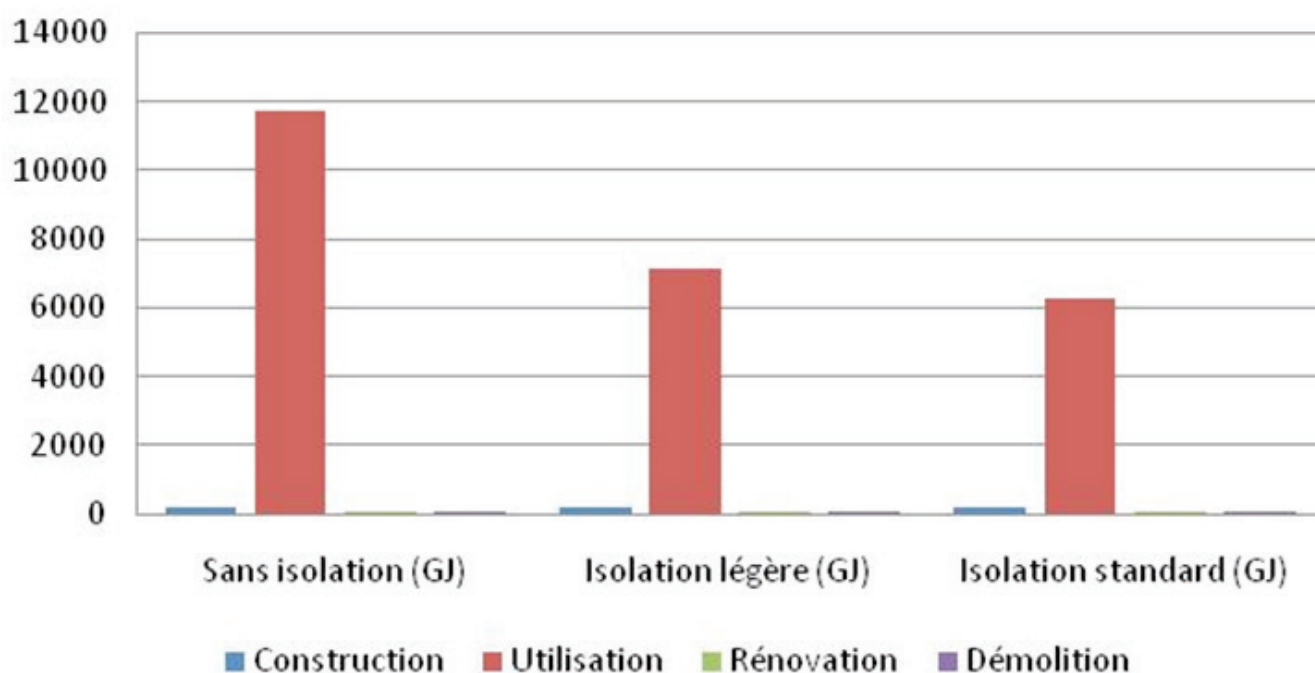


Figure 4 : Comparaison de l'impact des 4 phases du cycle de vie, pour les 3 variantes d'isolation

D'autres bâtiments périurbains ont été soumis à l'analyse en cycle de vie. Les résultats sont très similaires au cas présenté ici. Ce premier résultat est par ailleurs cohérent avec les résultats d'analyses en cycle de vie de bâtiments présentés dans la littérature internationale. Ainsi, la phase d'utilisation, qui représente approximativement entre 80 et 98% des impacts totaux en cycle de vie, est la phase qui a l'impact environnemental le plus grand. La phase de construction représente entre 1 et 20% des impacts et la phase de fin de vie de 0,2 à 5% (Adalberth et al. 2001, Blengini 2009, Huberman and Pearlmuter 2008, Peuportier 2001, Scheuer et al. 2003). En conséquence, réduire les flux d'énergie, d'eau et de déchets en phase d'utilisation devrait avoir un plus grand impact qu'utiliser des matériaux très performants lors de la phase de construction.

L'impact des trois variantes proposées sur les autres indicateurs environnementaux calculés par le logiciel EQUER (dont notamment la réduction de l'effet de serre, en tonnes de CO₂), est également significatif. L'écart entre variante faiblement isolée et variante isolée de façon standard est plus limitée. Le diagramme radar (figure 5) montre ainsi que l'influence des premiers centimètres d'isolant est primordiale et que le gain engendré par les centimètres suivants est plus réduit, et ce pour l'ensemble des 12 indicateurs environnementaux.

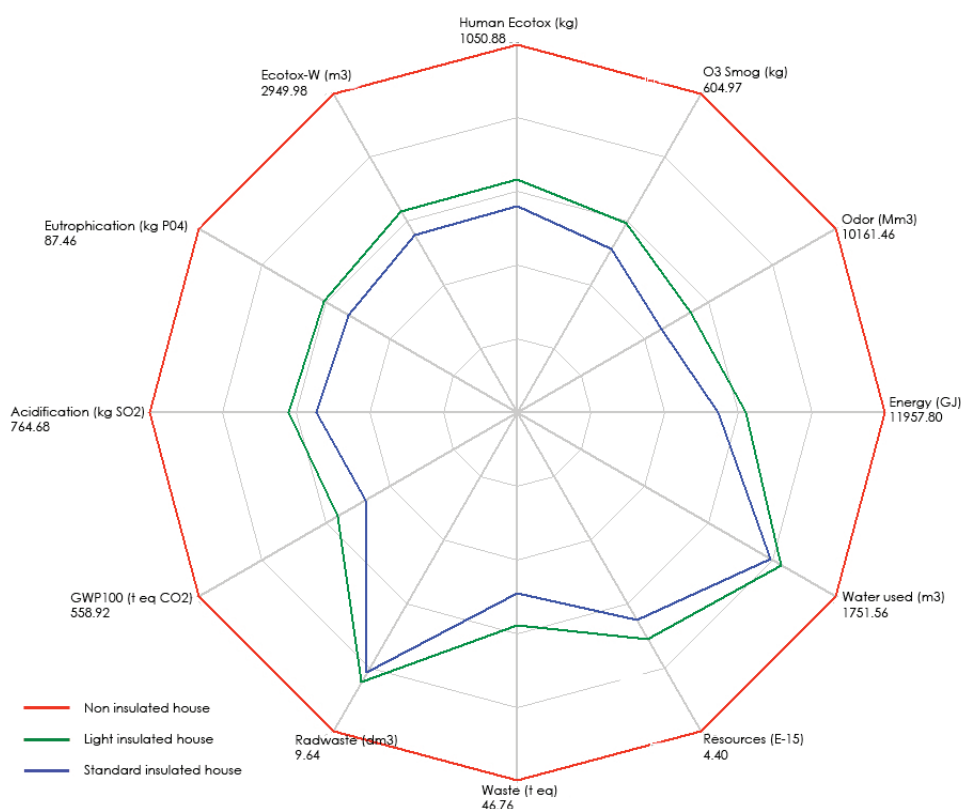


Figure 5 : Diagramme radar présentant l'impact des 3 variantes (sans isolation en rouge, avec isolation légère en vert et avec isolation standard en bleu) sur les 12 indicateurs environnementaux d'EQUER.



Références

- Adalberth, K., A. Almgren and E.H. Petersen. (2001). Life cycle assessment of four multi-family buildings. International Journal of Low Energy & Sustainable 2.
- Blengini, G.A. (2009). Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: a case study in Turin, Italy. Building and Environment 44:319–30.
- Cellule Etat de l'Environnement. (2007). Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. MRW – Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement. Report D/2007/5322/45. Cellule Etat de l'Environnement Wallon, Belgium
- Huberman, N. and D. Pearlmutter. (2008). A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. Energy and Buildings 40:837–48.
- Peuportier, B. (2001). Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. Energy and Buildings 33(5):443–50.
- Peuportier B. (2004). La simulation et les nouvelles attentes liées au concept de développement durable, documentation fournie avec les logiciels IZUBA.
- Peuportier B., Polster B. (non daté). Logiciel EQUER. Simulation du cycle de vie des bâtiments. Manuel d'utilisation du logiciel EQUER.
- Reiter, S. (2010). Life Cycle Assessment of Buildings - a review. Proceedings of ArcelorMittal International Network in Steel Construction 2010 : Sustainability Workshop.
- Scheuer, C., G.A. Keoleian G.A. and P. Reppe. (2003). Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. Energy and Buildings 35:1049–64.
- Verbeek, G. and H. Hens. (2005). Energy savings in retrofitted dwellings: economically viable? Energy and Buildings 37:747-754.



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/





Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lemma.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be

Références et publications scientifiques de l'équipe en lien avec cette fiche

- Rossi, B, Marique, A.-F, & Reiter, S. 2012. Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. *Building & Environment*, 51, 402-407.
- Rossi, B, Marique, A.-F, Glaumann, M, & Reiter, S. 2012. Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. *Building & Environment*, 51, 395-401.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2012b. A method to evaluate the energy consumption of suburban neighborhoods. *HVAC&R Research Journal* 18 (1-2): P.88-99.
- Rossi, B, Marique, A.-F, & Reiter, S. 2011. Life-cycle carbon footprint of a residential steel framed building in different climates. *World Sustainable Building Conference: SB11*, Helsinki, Finland.
- Reiter, S. 2010. Life Cycle Assessment of Buildings - a review. *Proceedings of ArcelorMittal International Network in Steel Construction 2010 : Sustainability Workshop*.
- Marique, A.-F, & Reiter, S. 2010. A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighbourhood scale. *Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in buildings*, Syracuse, USA.



Auteurs de la fiche

LEMA

Université de Liège

A.F. Marique et Prof. S. Reiter

Chemin des Chevreuils, 1 B52/3

4000 Liège

Afmarique@ulg.ac.be

+32 4 366 93 67

<http://www.lemma.ulg.ac.be/>



Quartier



Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public, chercheurs



Logement, quartier, étalement
urbain, définition



SAFE.QUA01

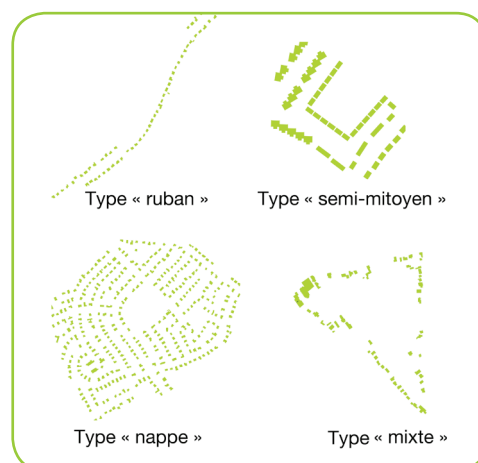
Vers une définition et une typologie des quartiers périurbains wallons

○ Définition et typologie des quartiers périurbains wallons :

- Une définition du territoire périurbain est proposée sur base de 3 critères : faible densité, discontinuité spatiale et monofonctionnalité
- Cette définition est adaptée aux études de type « morphologique »
- Sur cette base, une typologie des quartiers périurbains wallons est définie. Quatre types de quartiers périurbains principaux sont identifiés : Les types « ruban », « semi-mitoyen », « nappe » et « mixte ».
- Deux exemples d'applications relatifs aux consommations d'énergie sont proposés

○ Résumé

Le projet de recherches SAFE traite de l'évaluation énergétique des quartiers périurbains. L'objet de cette fiche est, dans ce cadre, de proposer une définition du territoire périurbain wallon adaptée à des études de type morphologique (étude des consommations énergétiques des bâtiments et quartiers, études d'ensoleillement, etc.). Cette définition se développe sur base de trois critères : la faible densité, la discontinuité spatiale avec les espaces centraux historiques et la monofonctionnalité (quartiers résidentiels). Une typologie des quartiers périurbains wallons est ensuite proposée et permet d'identifier quatre types principaux de quartiers périurbains wallons. La typologie est enfin confrontée à nos outils d'analyse (outils d'analyse des consommations d'énergie relative au transport et au chauffage des bâtiments) pour tester son applicabilité.



Légende : Quatre types de quartiers périurbains ont été identifiés © www.safe-energie.be

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Janvier 2012



Vers une définition du territoire périurbain

Les définitions existantes du territoire périurbain sont essentiellement basées sur des critères socio-économiques et sur les limites communales. Elles cachent des réalités diverses et sont peu adaptées à des études traitant de la forme urbaine et de la morphologie du bâti. Une définition du territoire périurbain wallon adaptée à des études de type morphologique (étude des consommations énergétiques des bâtiments et quartiers, études d'ensoleillement, etc.) est proposée. Cette définition se développe sur base de trois critères : la densité, la discontinuité spatiale et la monofonctionnalité (quartiers résidentiels). Sur base de cette définition, une typologie des quartiers périurbains wallons est ensuite proposée. Quatre types principaux de quartiers périurbains sont identifiés : le type « ruban », le type « semi-mitoyen », le type « nappe » et le type « mixte ». Ces développements sont finalement confrontés aux outils d'évaluation développés dans le cadre du projet SAFE pour démontrer leur applicabilité.

Les définitions existantes

Basées sur des données quantitatives et qualitatives, la classification des aires urbaines développées par Van der Haegen et al. (1996) (actualisation de la première définition de Van der Haegen et Pattyn, (1979)) classe les 589 communes belges (dont 262 communes wallonnes) en quatre catégories sur base notamment des facilités et services offerts et des habitudes de déplacements des habitants pour le travail, le commerce, etc. (figure 1) :

- Les agglomérations morphologiques regroupent les ensembles de bâti continu (moins de 250 mètres entre constructions) composés des villes centrales (noyau urbain et quartiers urbains à construction très dense) et la couronne urbaine. Elles sont au nombre de sept en Région wallonne (1.383 secteurs statistiques, 536,1 km², 3,17% du territoire wallon). Les agglomérations opérationnelles sont définies de la même façon mais leurs limites sont adaptées aux frontières communales (2.260 secteurs statistiques, 1.478 km², 8,75% du territoire wallon)
- Les banlieues sont des zones de développement et de prospérité relative ayant de solides liens bilatéraux avec le centre-ville (1.762 secteurs statistiques, 2.374,1 km², 14,05% du territoire)
- Les zones résidentielles des migrants alternants sont des zones dans lesquelles au moins 15% de la population active migre quotidiennement vers l'agglomération (1.959 secteurs statistiques, 3.421,54 km², 20,24% du territoire) ;
- Les autres communes ne sont pas classées. Elles recouvrent une série de réalités différentes (zone rurale, périurbaine, pôle secondaire, etc.).

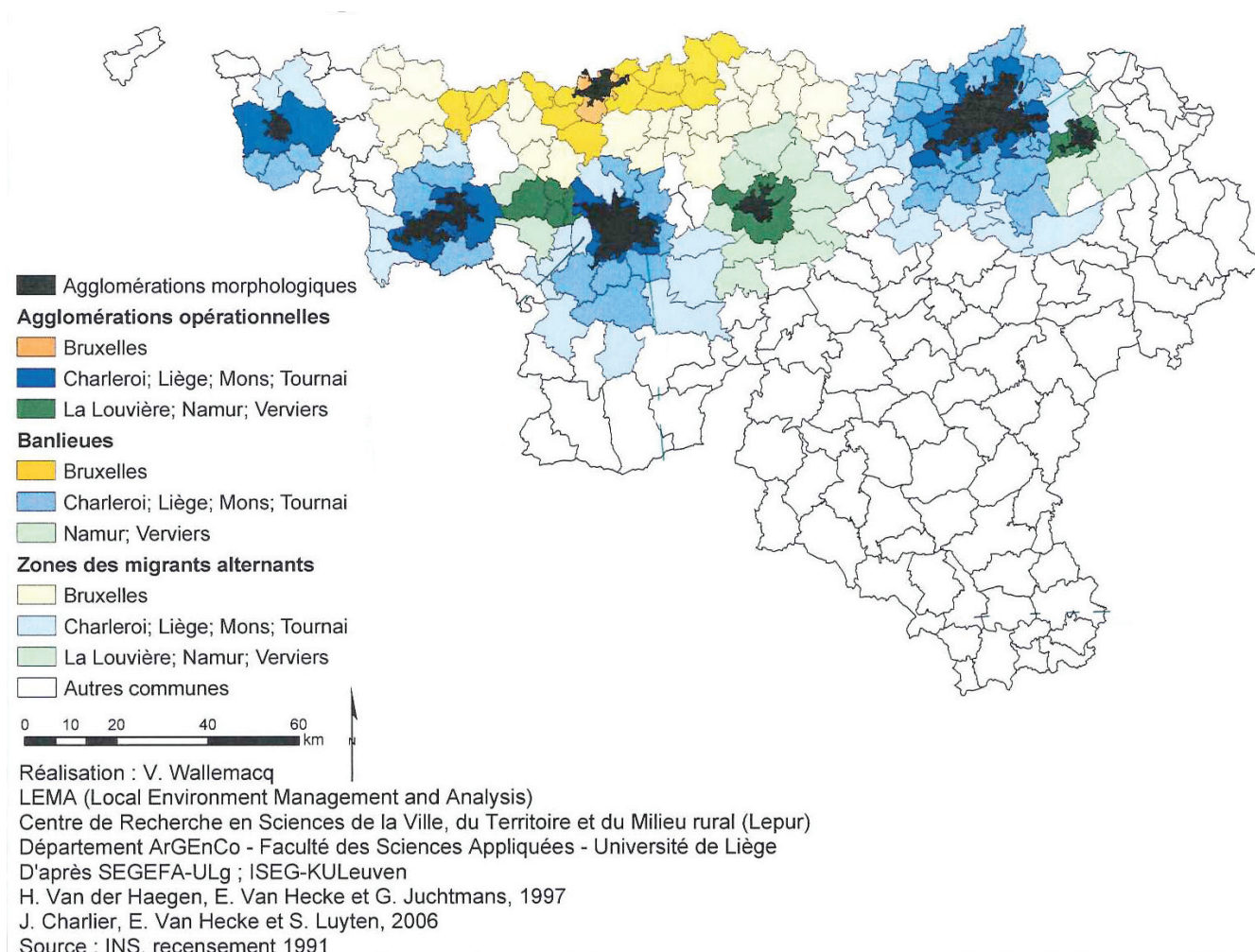


Figure 1 : Régions urbaines en Wallonie

Si ces définitions, et d'autres qui en sont dérivées, sont souvent utilisées dans les études statistiques ou autres traitant de la Région wallonne ou de la Belgique, elles cachent toutefois des réalités diverses, notamment en ce qui concernent le bâtiment et la forme urbaine. En effet, les limites communales englobent souvent des quartiers de types très divers, comme illustré pour les communes de Liège et Houffalize sur les figures 2 et 3.



Figure 2 : Différences morphologiques entre un quartier périphérique (Rocourt) et un quartier central (Saint-Léonard) de la commune de Liège © bing.maps.com



Figure 3 : Différences morphologiques entre le noyau central d'Houffalize et un développement plus récent, en ruban, situé dans la même commune © bing.maps.com

Les noyaux d'habitat définis par l'INS (figure 4) sont des unités morphologiques découlant de la réunion d'un ou plusieurs secteurs statistiques, indépendamment des limites communales. En bref, il s'agit de zones bâties continues. Les zones regroupant 200 personnes et plus sont dites "zones d'habitations agglomérées" sinon elles sont appelées "zones d'habitations dispersées" (www.sder.wallonie.be). Cette classification rencontre de façon plus adéquate notre objectif car elle se base sur des critères de type « morphologique » et ne se limite pas aux frontières communales. Toutefois, les zones à caractère périurbain ou rural ne sont pas identifiées.

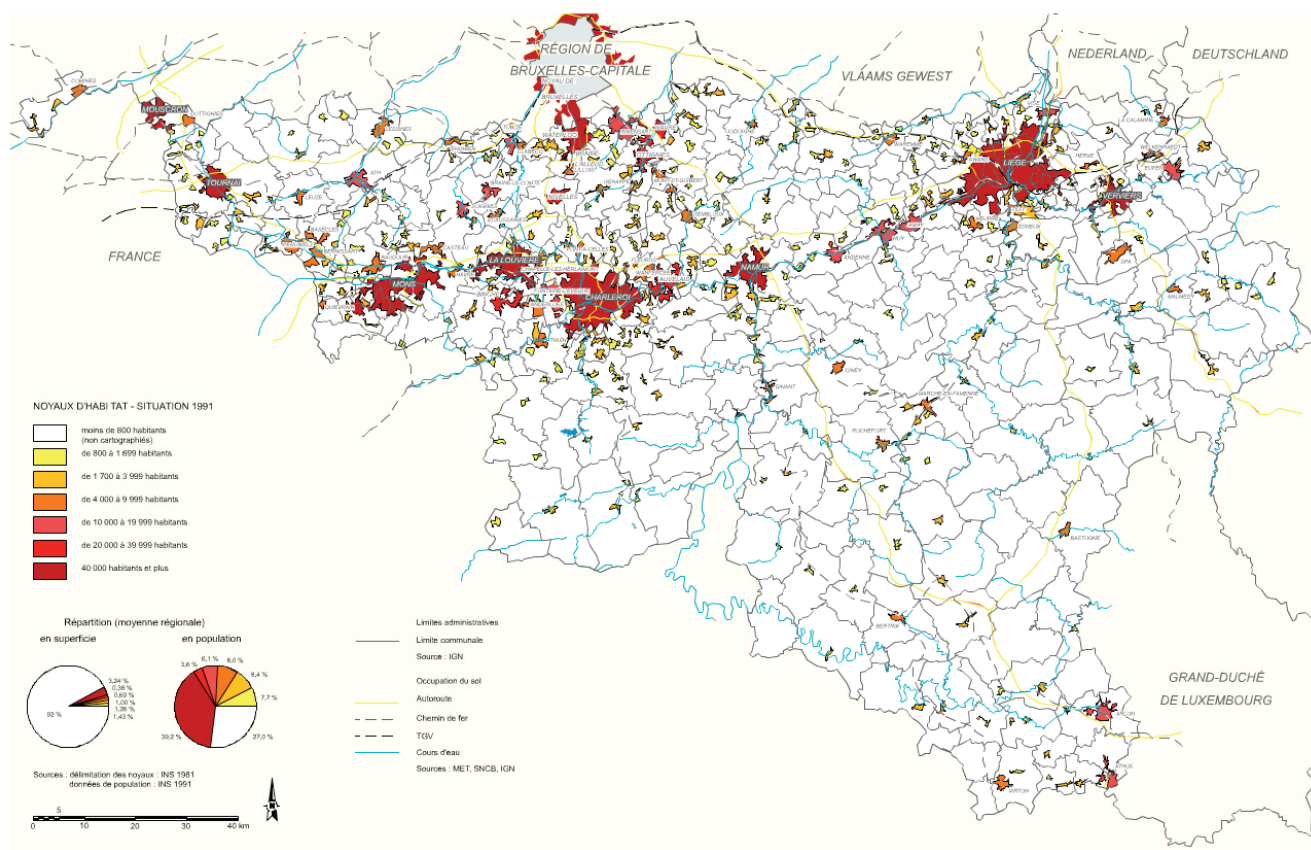


Figure 4 : Noyaux d'habitat (INS) © www.sder.wallonie.be

La définition : méthode et application

Une définition basée sur des critères « morphologiques » des quartiers périurbains semble donc plus adaptée à l'objet de notre recherche. Parmi la pléthore des définitions du périurbain qui existent dans la littérature internationale, trois caractéristiques reviennent régulièrement : (1) la faible densité, (2) la monofonctionnalité et (3) la discontinuité spatiale des quartiers périurbains.

Ces trois indicateurs ont ainsi été appliqués aux 9.730 secteurs statistiques qui composent la Région wallonne de façon à en extraire ceux qui seront qualifiés, selon notre définition, de « périurbains ». Si le secteur statistique reste une limite administrative, comme l'ancienne commune ou la commune, il a toutefois l'avantage d'être de superficie suffisamment restreinte que pour être considéré comme homogène. Pour rappel le secteur statistique est défini comme la plus petite unité territoriale pour laquelle des informations statistiques existent. Cette subdivision de la commune est établie sur base de similarités socio-économiques et architecturales (Brulard et Van der Haeghen, 1972).

Le premier indicateur appliqué au stock bâti wallon est la mono-fonctionnalité. Nous avons extrait de l'ensemble du stock bâti wallon les bâtiments résidentiels pour y appliquer le second critère : la densité. La densité nette de logements de chaque secteur statistique de la Région wallonne a été calculée. La répartition des secteurs par densité s'exprime sous forme d'une courbe gaussienne (figure 5) dont il faut éliminer les zones denses des centres-villes et noyaux ruraux et les zones peu denses à caractère plutôt rural. Sur base de la gaussienne, nous posons l'hypothèse que notre zone d'étude s'étend entre les premier et troisième quartiles, ce qui signifie que les quartiers périurbains tels qu'ainsi définis présentent une densité comprise entre 5 à 12 logements par hectare (figure 6), les quartiers urbains sont ceux qui présentent une densité supérieure à 12 logements par hectare (figure 7) et les quartiers ruraux une densité inférieure à 5 logements par hectare (figure 8). Le critère « discontinuité spatiale » est intrinsèquement lié à celui de la densité, il ne fait pas l'objet d'un filtre supplémentaire.

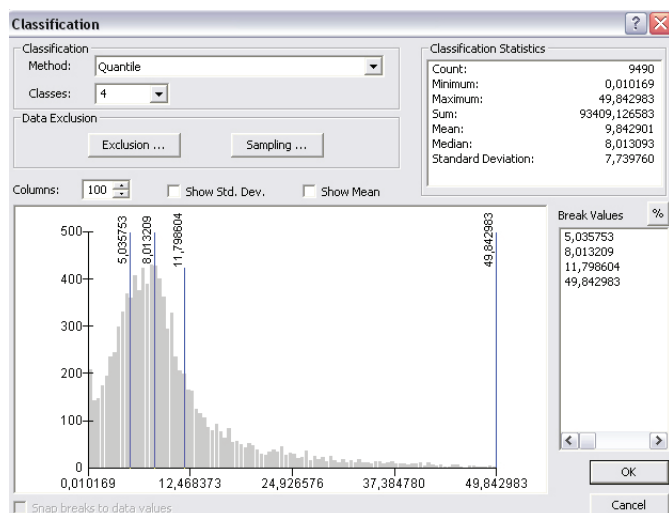


Figure 5 : Répartition des secteurs statistiques selon la densité de logements (quartiles) © (Marique et al, 2012)

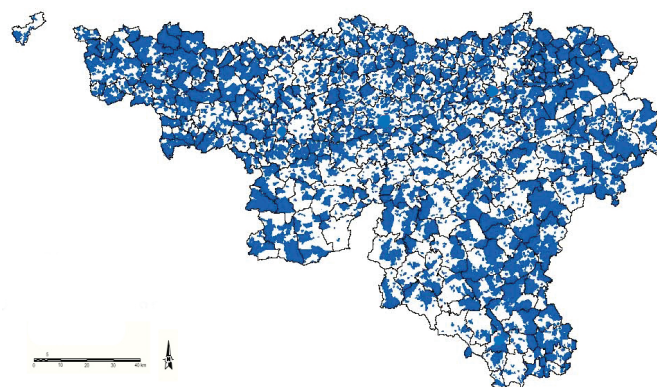


Figure 6 : Secteurs statistiques dont la densité est comprise entre 5 et 12 logements par hectare © (Marique et al, 2012)

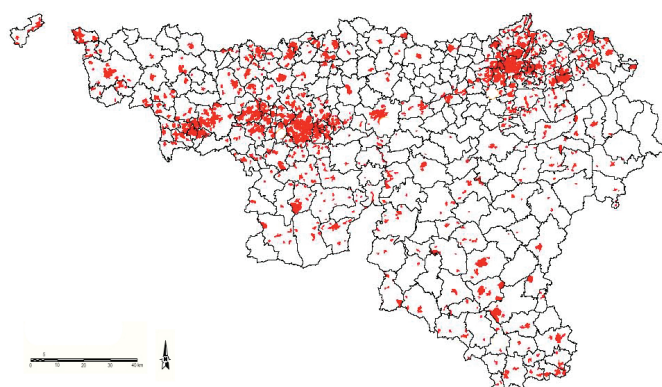


Figure 7 : Secteurs statistiques dont la densité est supérieure à 12 logements par hectare © (Marique et al, 2012)

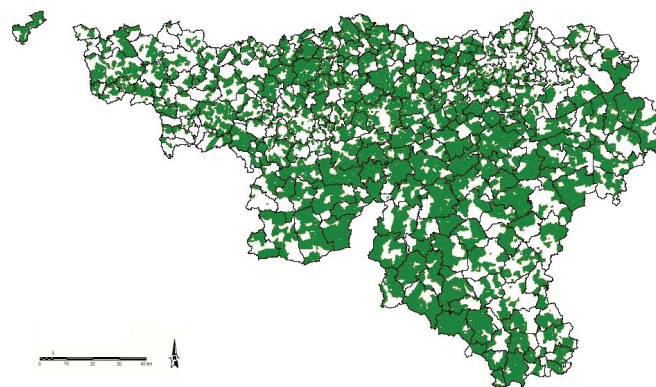


Figure 8 : Secteurs statistiques dont la densité est inférieure à 5 logements par hectare © (Marique et al, 2012)

Le nombre de logements présents dans chacun des secteurs statistiques considérés comme « périurbains » est cartographié, à l'échelle du secteur statistique, sur la figure 9, et à l'échelle de la commune, sur la figure 10, de façon à apporter une information supplémentaire aux cartes précédentes où seule la superficie des secteurs statistiques est représentée. Les logements dits « périurbains » se concentrent surtout dans le Brabant wallon alors que dans la Province du Luxembourg, les secteurs statistiques sont de grande superficie mais accueillent un nombre plus réduit de logements. Enfin, ces cartes mettent en évidence la présence dans certaines communes denses, comme Namur par exemple, (qui était intégralement intégrée dans les agglomérations de Van der Haegen et al. (1996)) d'un nombre important de secteurs dits « périurbains ».

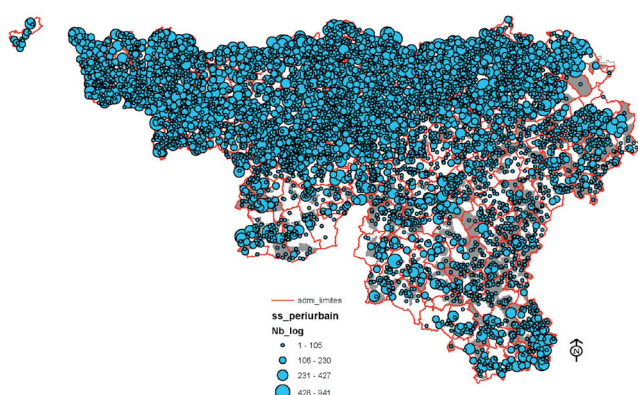


Figure 9 : Nombre de logements présents dans des secteurs statistiques « périurbains » à l'échelle du secteur statistique. © (Marique et al, 2012)

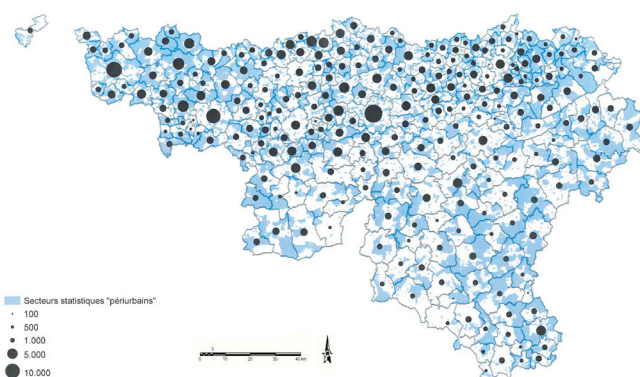


Figure 10 : Nombre de logements présents dans des secteurs statistiques « périurbains » à l'échelle de la commune. © (Marique et al, 2012)

Vers une définition du territoire périurbain

La méthode et son application

Trois cents bâtiments ont été sélectionnés de façon aléatoire parmi l'ensemble des logements identifiés comme périurbains dans la définition présentée ci-dessus. Pour chacun des bâtiments de cet échantillon, différentes caractéristiques ont été identifiées et traitées :

- Les caractéristiques relatives au bâtiment : superficie, mitoyenneté, nombre de niveaux
- Les caractéristiques relatives à la parcelle sur laquelle le bâtiment est construit : dimensions et superficie
- Les caractéristiques relatives au quartier dans lequel le bâtiment est implanté : type

Quatre types principaux de quartiers périurbains wallons ont été mis en évidence sur base de cette dernière information :

- Le quartier de type « ruban » est composé de maisons unifamiliales de type « 4 façades » implantées sur de larges parcelles. Il se développe de façon linéaire entre deux noyaux existants. Ce type de quartier représente 21% du stock bâti périurbain wallon (figure 11a).
- Le quartier de type « semi-mitoyen » est composé de logements mitoyens ou semi-mitoyens. Ce type englobe notamment les cités sociales et représente 8% du stock périurbain wallon (figure 11b).
- Le quartier de type « nappe » est le « lotissement classique ». Il s'agit d'un développement uniquement résidentiel, souvent développé de façon parfaitement autonome autour notamment de voies en raquette. Ce type représente 20% des quartiers périurbains wallons (figure 11c).
- Le quartier de type « mixte » présente une plus grande mixité que ce soit en termes de types de bâtiments ou de fonction. Il se développe souvent au départ d'un noyau ancien et représente 30% des quartiers périurbains wallons (figure 11d).



Figure 11 : Exemples de quartiers périurbains de type (a) ruban, (b) semi-mitoyen, (c) nappe et (d) mixte



Un type « composite » peut être identifié en marge de la classification principale. Il est composé des quartiers qui relèvent de deux types (par exemple semi-mitoyen – mixte). 9% de notre échantillon relève de ce type alors que 12% ne répond à aucun des types précédents. Nous considérons ces biais comme acceptables dans une étude visant du stock bâti à l'échelle d'une région.

Le croisement avec les caractéristiques des bâtiments

De nombreuses analyses ont été menées pour analyser les principales caractéristiques du bâti périurbain wallon. Les caractéristiques des quartiers ont été croisées avec les caractéristiques des parcelles (superficie) et des logements (superficie, année de construction principalement).

Les types suivants sont les plus couramment rencontrés :

- La maison d'une superficie de 101 à 150m², construite avant 1930, dans un quartier de type « mixte » (11,9% du stock bâti périurbain)
- La maison d'une superficie de 101 à 150m², construite entre 1961 et 1980, dans un quartier de type « ruban » (6,9%)
- La maison d'une superficie de 50 à 100m², construite avant 1930, dans un quartier de type « mixte » (5,1%)
- La maison d'une superficie de 101 à 150m², construite entre 1961 et 1980, dans un quartier de type « nappe » (5,0%)
- La maison d'une superficie de 101 à 150m², construite entre 1981 et 1996, dans un quartier de type « nappe » (5,0%)

On remarquera que les périodes de construction « avant 1930 » et « entre 1961 et 1980 » sont particulièrement bien représentées. Cela illustre deux phénomènes : (1) le stock bâti périurbain wallon est ancien (et donc pas ou peu isolé) et (2) de nombreux lotissements périurbains ont été développés entre 1960 et 1980. Après cette époque, la périurbanisation a continué mais de façon moins importante.



Quelques applications

La confrontation avec les indices « transport »

Les trois indices (de localisation, de parts modales des modes de transport motorisés, des distances parcourues) définis et cartographiés dans les fiches SAFE.MOB01 et SAFE.MOB02 (voir aussi Marique and Reiter, 2012) ont été recalculés pour les secteurs statistiques compris dans les trois classes de densité utilisées dans notre définition du périurbain (sur base des données INS de 2001). Ce sont dans les zones les plus denses que les performances énergétiques des déplacements domicile-travail et la part modale des transports en commun sont les meilleures. Les valeurs moyennes des différents indices sont significativement différentes entre la classe « de 5 à 12 logements par hectare » et la classe « plus de 12 logements par hectare ».

Tableau 1 : Calcul des indices de localisation, de parts modales des distances parcourues et de distances parcourues moyens pour les secteurs statistiques par classe de densité, déplacements domicile-travail, données INS de 2001

Densité [log/ha]	IPE [kWh/p.tr]	Parts modales de la voiture [%]	Parts modales du bus [%]	Parts modales du train [%]	Distance moyenne [km]
< 5	13,7	86,6%	1,5%	11,9%	26,4
[5 – 12]	13,6	85,0%	1,6%	13,4%	26,5
> 12	10,7	79,2%	3,9%	16,9%	21,7

L'impact de stratégies de rénovation énergétique

Quatre types de quartiers et 72 types de bâtiments ont été identifiés dans notre approche typologique. Ces bâtiments et quartiers ont ensuite été soumis à des simulations thermiques dynamiques de façon à pouvoir extrapoler la consommation énergétique de l'ensemble du stock bâti périurbain wallon et à tester l'impact de différents scénarios de renouvellement énergétique (les hypothèses et détails sont présentés dans Marique et al., 2012).

A titre d'exemple et pour illustrer l'applicabilité de notre approche, trois scénarios ont été investigués : (SC1) une rénovation légère (isolation du toit et remplacement des châssis) de tout le stock bâti antérieur à 1981, (SC2) une rénovation plus ambitieuse du stock bâti construit entre 1961 et 1980 (rénovation de l'ensemble de l'enveloppe) et (SC3) une rénovation poussée de l'ensemble du stock bâti périurbain existant pour satisfaire aux standards actuellement en vigueur pour les nouvelles constructions.

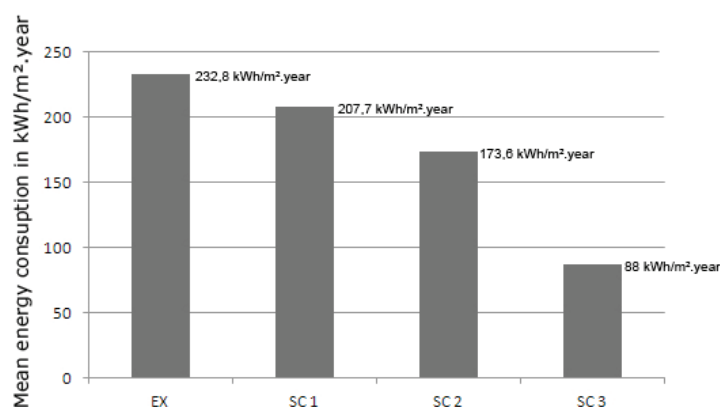


Figure 12 : Exemple d'application : gains énergétiques potentiels (en kWh/m².an) relatifs à trois stratégies de rénovation énergétique du stock bâti périurbain



Conclusion

En conclusion, sur base de données cadastrales et cartographiques, une définition du territoire périurbain wallon a été développée. Trois critères sont utilisés : la densité, la discontinuité spatiale et la monofonctionnalité. Une typologie des bâtiments et quartiers périurbains a ensuite été développée de façon à identifier les types les plus courants et leur représentativité. Ces développements ont été utilisés pour évaluer les consommations énergétiques (transport des personnes et chauffage des bâtiments) et l'impact de différentes stratégies de renouvellement à l'échelle de l'ensemble du stock bâti périurbain wallon.



Références

- Brulard T., Van der Haegen H. (1972). La subdivision des communes belges en secteurs statistiques. Le point de vue des géographes. Acta Geographica Lovaniensia, 10, p. 21-36.
- Marique, A.-F., M. Pétel, A. Hamdi & Reiter, S. (2012). Combining territorial data with thermal simulations to improve energy management of suburban areas. Proceedings of GEOProcessing 2012, Valence, Spain.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. (2012). A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. Environmental Impact Assessment Review 33, 1-6.
- Van der Haegen H., Pattyn M. (1979). Les régions urbaines belges. Institut National de Statistiques, Bulletin de statistique, 5e année, n° 3.
- Van der Haegen H., Van Hecke E., Juchtmans G. (1996). Les régions urbaines belges en 1991. Etudes statistiques de l'INS. 104, 42 p.



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier :

- SAFE.GEN02 : l'étalement urbain : qu'est-ce que c'est ?





Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lemma.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be

Références et publications scientifiques de l'équipe en lien avec cette fiche

- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2012b. A method to evaluate the energy consumption of suburban neighborhoods. HVAC&R Research Journal 18 (1-2): P.88-99.
- Marique, A.-F., M. Pétel, A. Hamdi & Reiter, S. 2012. Combining territorial data with thermal simulations to improve energy management of suburban areas. Proceedings of GEOProcessing 2012, Valence, Spain.
- Wallemacq, V, Marique, A.-F. & Reiter, S. 2011. Development of an urban typology to assess residential environmental performance at the city scale. In Bodard M., Evrard A. (Ed.), Proceedings of International Conference PLEA 2011 : Architecture & Sustainable Development (pp. 119-125). Presses Universitaires de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgium.



Auteurs de la fiche

LEMA

Université de Liège
A.F. Marique et Prof. S. Reiter
Chemin des Chevreuils, 1 B52/3
4000 Liège
Afmarique@ulg.ac.be
+32 4 366 93 67
<http://www.lemma.ulg.ac.be/>

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain
T. de Meester et Prof. A. De Herde
Place du Levant, 1
1348 Louvain-La-Neuve
Tatiana.demeester@uclouvain.be
+32 10 47 23 34
<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Grand public, chercheurs



Logement, quartier, évaluation
énergétique, efficacité éner-
gétique, rénovation



SAFE.QUA02

La forme urbaine et les consommations d'énergie des quartiers périurbains



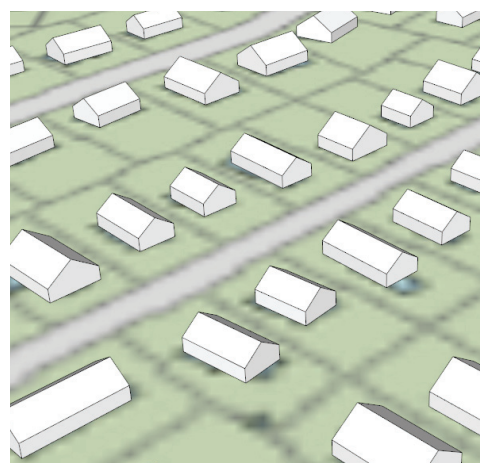
L'impact de la forme urbaine sur les consommations énergétiques des quartiers périurbains:

- Cette approche est complémentaire de l'approche à l'échelle du bâtiment individuel
- La mitoyenneté a un impact important sur les consommations d'énergie pour le chauffage des bâtiments
- L'orientation des quartiers a, en l'état actuel, un impact limité car ce critère n'a pas été pris en compte lors de la conception des quartiers
- Les gains solaires reçus par les toitures sont importants en milieu périurbain
- Les stratégies de rénovation énergétique du bâti, menées à l'échelle de tout un quartier, offrent des perspectives intéressantes



Résumé

L'efficacité énergétique à l'échelle du bâtiment a fait l'objet de plusieurs fiches pratiques (SAFE.BAT03/04/05/06/07/08/09). Elles abordent notamment l'influence des caractéristiques constructives, du climat ou du mode de vie des occupants sur les consommations énergétiques. Des variations paramétrées ont été réalisées pour plusieurs bâtiments-types. La présente fiche complète cette approche et présente les variations paramétrées réalisées à l'échelle du quartier. Il s'agit de déterminer, de façon théorique, l'influence des paramètres caractérisant la forme urbaine sur la consommation énergétique des quartiers périurbains existants. Trois paramètres sont traités : la continuité entre les bâtiments (mitoyenneté), l'orientation du quartier et la consommation énergétique des bâtiments en phase d'utilisation.



Modélisation 3D d'un quartier périurbain
© www.safe-energie.be

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4,
programme mobilisateur energywall

Janvier 2012



La forme urbaine : introduction

L'impact de la forme urbaine sur les consommations d'énergie relatives au chauffage des bâtiments des quartiers périurbains existants est investigué dans cette fiche. Trois critères sont traités. La continuité entre les bâtiments ou mitoyenneté a un impact important sur les consommations d'énergie pour le chauffage des bâtiments. L'orientation des quartiers a, en l'état actuel, un impact très limité car ce critère n'a pas été pris en compte lors de la planification des quartiers et bâtiments qui le composent. Les gains solaires reçus par les toitures et façades des bâtiments périurbains sont toutefois importants et devraient être exploités (architecture bioclimatique, énergies renouvelables basées sur le solaire, etc.). Enfin, les performances énergétiques des bâtiments qui composent le quartier ont une influence très importante sur la consommation globale du quartier. Des stratégies de rénovation menées à l'échelle du quartier, plutôt qu'à l'échelle du bâtiment individuel, pourraient offrir des gains énergétiques potentiels très importants, et ce d'autant plus que le stock bâti existant est peu ou pas isolé.

De nombreux modèles et techniques ont été développés et validés ces dernières années pour étudier et simuler le comportement des bâtiments, en vue d'en améliorer les performances énergétiques et environnementales. Ces modèles adoptent, en général, la perspective du bâtiment, en le considérant comme une entité autonome et en négligeant l'importance de phénomènes qui apparaissent à des échelles plus larges (Ratti et al, 2005).

Or, si le contexte urbain a été largement ignoré dans les analyses traitant de la qualité environnementale des bâtiments, l'approche « bâtiment » n'est plus suffisante du point de vue de l'aménagement durable du territoire et de la raréfaction de nos ressources puisque les décisions prises à l'échelle d'un quartier ont des conséquences importantes sur les performances énergétiques des bâtiments. Celles-ci dépendent en effet de nombreux critères définis au stade du plan masse : compacité, orientation, valorisation des apports solaires, etc. (Popovici et Peuportier, 2004). L'organisation à l'échelle du quartier permet également de réduire le coût et d'augmenter l'efficacité des équipements collectifs (comme le chauffage urbain, le traitement des eaux ou des déchets) par rapport à des systèmes individuels (Hanson, 1996) alors que la localisation du quartier et ses caractéristiques en termes de mixité fonctionnelle notamment auront une influence sur les habitudes de déplacements des habitants. Le choix de l'échelle du quartier répond ainsi à la nécessité de mettre en application un certain nombre de préceptes et de méthodes de gestion particuliers, qui touchent à l'énergie comme à d'autres thématiques comme les déplacements, les réseaux, etc.

Situé entre l'échelle de la ville, qui peut présenter une complexité inhibante, et celle du bâtiment, trop parcellaire, l'échelle du quartier apparaît intéressante en termes opérationnels, car elle est particulièrement bien adaptée à l'expérimentation de pra-





tiques spécifiques visant l'accroissement de la durabilité. Elle permet en effet d'appréhender la réalité urbaine dans une échelle suffisamment grande pour toucher à de multiples thèmes qui dépassent la dimension du bâtiment considéré, mais suffisamment restreinte pour visualiser des interventions concrètes (Rey, 2008). Le quartier constitue enfin un ensemble de vie cohérent et correspond mieux au niveau de résolution de nombreux problèmes (collecte des déchets, limitation des nuisances, etc.) (Cherqui, 2005), notamment en facilitant la concertation entre acteurs par rapport à des échelles plus larges. Il convient finalement de relever que si la qualité environnementale des bâtiments tend à s'améliorer en Europe, les expériences menées à l'échelle du quartier restent peu nombreuses. Indirectement symptomatique de l'émergence relativement récente du champ d'investigation qu'est le quartier, les multiples labels qui fleurissent aujourd'hui se limitent ainsi pour la plupart au bâtiment.

Dans la suite de cette fiche, l'impact de trois critères est évalué à l'échelle du quartier : la continuité entre les bâtiments ou mitoyenneté, l'orientation des quartiers et la consommation d'énergie des bâtiments en phase d'utilisation. Ces développements sont spécifiques aux quartiers périurbains et tentent d'apporter des solutions pertinentes pour répondre à la question de la rénovation des quartiers périurbains existants.

La continuité entre les bâtiments

La continuité entre les bâtiments, ou mitoyenneté, est souvent présentée comme un critère important en termes de réduction des consommations énergétiques des bâtiments, notamment par les partisans de la « ville compacte ». Des études, tant empiriques que théoriques, montrent toutes qu'une maison unifamiliale est moins efficace énergétiquement parlant que le logement collectif. La maison mitoyenne se situe entre les deux (Owens, 1995, Djupkas et Nesbakkenn, 1995, Holden et Norland 2005). Cependant, la différence entre ces trois différents types de logements tend à diminuer depuis 1980 car les maisons unifamiliales construites ces deux dernières décennies utilisent seulement 20% d'énergie de plus, per capita, que le collectif de la même époque (Holden 2001, Holden et Norland, 2005).

Nous avons ici testé l'impact de ce paramètre, pour 2 quartiers périurbains wallons composés uniquement de bâtiments isolés de type « 4 façades ». Nous avons considéré, de façon purement théorique, que chaque ensemble de 4 maisons individuelles isolées était remplacé par un groupe de quatre maisons accolées (soit 2 maisons mitoyennes et 2 maisons semi-mitoyennes), comme représenté sur la figure suivante.

Les gains énergétiques obtenus sont significatifs puisque cette distribution plus compacte des bâtiments engendre une réduction des consommations de chauffage de 19,9% dans le cas premier quartier et de 19,0% dans le cas du second quartier.

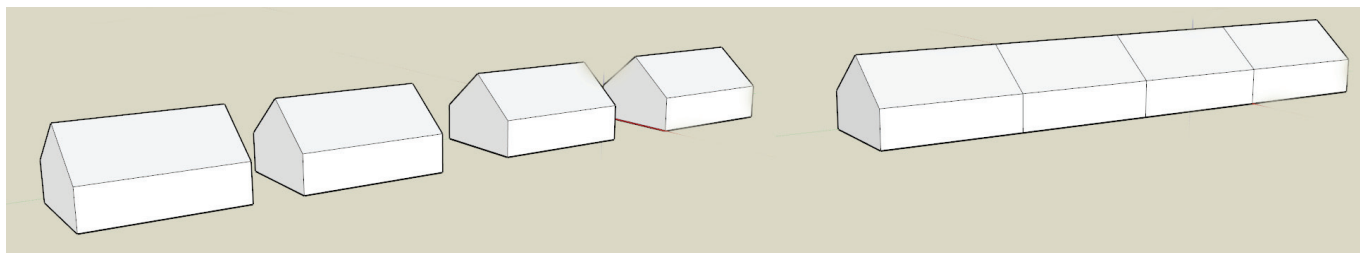


Figure 1 : Illustration des modèles utilisés : chaque ensemble de 4 bâtiments isolés « 4 façades » est remplacé par un ensemble de 4 bâtiments accolés (qui forment donc 2 maisons mitoyennes et 2 maisons semi-mitoyennes) pour tester l'impact de ce paramètre.

Si les bâtiments étaient groupés par 2 (ensemble de 2 maisons semi-mitoyennes) plutôt que par 4, la réduction des consommations de chauffage des deux quartiers périurbains testés s'élèverait à 13,1% et 12,9%.

A l'échelle du bâtiment individuel, nos simulations thermiques dynamiques montrent, par exemple, que pour un même niveau d'isolation standard (celui en vigueur lors de la phase transitoire de l'application de la nouvelle réglementation thermique PEB), une maison isolée de type « 4 façades » de 120m² consomme, pour le chauffage, 12,3% de plus qu'une maison semi-mitoyenne de même superficie et 21,9% de plus qu'une maison mitoyenne. Une maison mitoyenne isolée consomme par ailleurs 10,9% d'énergie de moins que la même maison semi-mitoyenne. Ces gains dus à la mitoyenneté varient selon le type de bâtiment, sa compacité, le niveau d'isolation et d'autres caractéristiques comme le pourcentage de surface vitrée sur les façades.

La continuité entre les bâtiments

L'impact de l'orientation de l'ensemble du quartier sur les consommations d'énergie pour le chauffage est investigué. Plusieurs quartiers périurbains ont été modélisés en l'état actuel en ce qui concerne l'isolation, le pourcentage de surfaces vitrées et les autres paramètres constructifs. Ils ont ensuite été soumis à une rotation de 360°, effectuée par pas de 45° de façon à définir 8 variantes par quartier (orientation = 0° / 45° / 90° / 135° / 180° / 225° / 270° / 315°). Des simulations thermiques dynamiques ont été réalisées pour chaque variante et montrent que l'impact de l'orientation sur les consommations de chauffage des bâtiments et des quartiers, en l'état actuel, est marginal. Il reste en effet inférieur à 4%, quelque soit le type de quartier étudié. Ces résultats sont cohérents avec l'approche développée dans les variations paramétrées « bâtiment » et avec la littérature. Maïzia et al. (2009), par exemple, ont effectué le même type d'étude pour une série de blocs urbains caractéristiques de la Région Ile-de-France et ont obtenu une variation maximale de 3% selon l'orientation des blocs.

Ces résultats s'expliquent par la faible prise en compte, en l'état actuel, des critères élémentaires de bioclimatisme et d'accès solaire lors de la conception des maisons et des quartiers périurbains. En effet, l'orientation des bâtiments et la composition des façades résultent le plus souvent de considérations purement fonctionnelles (faïte parallèle ou perpendiculaire à la voirie, façade

relativement opaque à rue (une porte d'entrée et une porte de garage), façade ouverte vers le jardin à l'arrière (quelque soit son orientation). Ces considérations posent, en amont, la question de la composition du quartier (tracé des voiries et des parcelles) qui devrait également être l'objet de plus d'attention de façon à permettre une meilleure exploitation des gains solaires et de l'orientation.

Ce manque de prise en compte des principes bioclimatiques et de l'orientation est d'autant plus dommageable qu'un potentiel existe et est facilement mobilisable lors de la construction de nouveaux bâtiments car les obstructions et masques sont peu nombreux dans les quartiers périurbains étudiés en raison de la faible densité bâtie (figure 2).

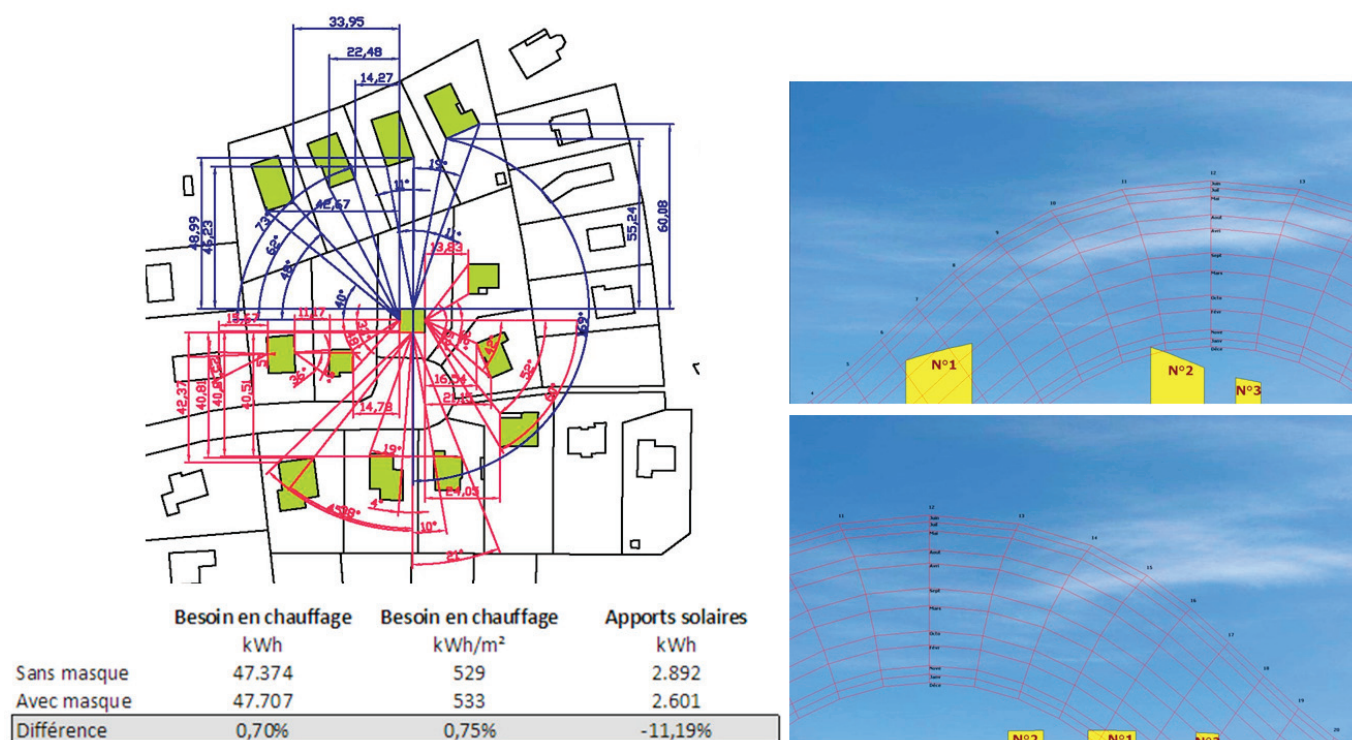


Figure 2 : besoins en chauffage et gains solaires reçus par les façades et toitures pour un bâtiment périurbain-type, sans et avec prise en compte des bâtiments voisins. (Simulations réalisées avec Pleiades+Comfie)

de Meester (2009) montre, à cet effet, que typiquement, une répartition de 50% des fenêtres vers le sud, de 20% vers l'est et l'ouest et de 10% au nord permet une économie d'énergie de 1.500 kWh par an par rapport à une répartition égale du vitrage sur les 4 façades du bâtiment. Les orientations entre le sud-est et le sud-ouest y sont identifiées comme les plus avantageuses bien que de larges surfaces vitrées vers l'est et l'ouest puissent entraîner des problèmes de surchauffe. Il s'agit toutefois de mentionner que l'orientation devient un facteur influent si ces principes sont appliqués. Afin d'étayer ces propos, nous avons défini un modèle fictif de bâtiment, qui prend mieux en compte les apports solaires éventuels, via une meilleure répartition des surfaces vitrées sur les façades (façade sud très ouverte, façade nord fermée).

Dans cette configuration, l'orientation du bâtiment joue un rôle nettement plus important sur les consommations de chauffage. Le tableau suivant présente, pour les trois variantes d'isolation utilisées depuis la phase II, les consommations énergétiques relatives aux 8 variantes d'orientation définies (où 0° signifie que la façade vitrée est orientée au sud).

Tableau 1 : Consommation de chauffage [kWh/m².an] pour différents scénarios d'orientation et d'isolation

kWh/m².an	Pas d'isolation [bâti d'avant 1984]	Isolation moyenne de 3cm dans les murs, toits et dalle [1984-1995]	Isolation moyenne de 6cm dans les murs, toits et dalle [1996-2008]
0°	306	95	73
45°	306	95	73
90°	308	97	75
135°	309	99	76
180°	310	100	77
225°	310	100	77
270°	309	99	76
315°	307	97	74
Différence max / colonne	1,3%	5,0%	5,2%

On voit ainsi que l'impact de l'orientation peut atteindre 5,2 %, entre les versions « 0° - façade vitrée orientée au sud » et « 180° - façade vitrée orientée au nord », pour la version isolée du bâtiment. L'impact de l'orientation reste limité pour la version « non isolée » du bâtiment car les apports solaires sont rapidement dissipés via les parois non isolées et le simple vitrage.

La consommation des bâtiments en phase d'utilisation

Les bâtiments et quartiers périurbains wallons existants présentent en général de faibles performances énergétiques (Kints, 2007, Marique and Reiter, 2012b.) Ce constat corrobore par ailleurs d'autres études comme celles menées par l'Institut National belge des Statistiques ou l'enquête logements sur la qualité de l'habitat réalisée par la Région wallonne en 2006-2007. Pour rappel, la première réglementation thermique adoptée en Région wallonne date de 1985 et a été revue en 1996 tout en restant relativement laxiste, notamment en comparaison avec les régions et pays voisins. L'entrée en vigueur progressive de la nouvelle réglementation européenne sur la Performance Énergétique des Bâtiments (DPEB) garantit toutefois l'amélioration notable des



performances des nouveaux bâtiments ou des projets de rénovation de plus de 1000 m².

L'objet de la présente section est d'évaluer l'impact du paramètre « consommation des bâtiments en phase d'utilisation » sur les consommations globales des quartiers périurbains. Ce paramètre étant directement lié à l'isolation, c'est par ce biais que nous aborderons la question.

Nous avons donc considéré, en première approche, que l'ensemble des bâtiments de 4 quartiers périurbains-types pourraient être rénovés de façon à atteindre les standard PEB actuel en vigueur pour les nouvelles constructions, standard « basse énergie » et standard « passif ». Ces simulations ont pour objet principal de quantifier, de façon théorique, le gain énergétique et de déterminer l'influence du facteur « consommation des bâtiments » sur les performances globales des quartiers. Les questions techniques relatives à l'étanchéité à l'air, etc. ne sont pas abordées ici. Elles relèvent plutôt de l'approche plus fine et détaillée, développée dans les fiches pratiques relevant de l'efficacité énergétique à l'échelle du bâtiment.

Tableau 2 : Diminution des consommations de chauffage des quartiers-types obtenus grâce à une rénovation énergétique des bâtiments jusqu'aux standards « PEB pour les nouvelles constructions », « basse énergie » et « passif »

	QU.1	QU.2	QU.3	QU.4
PEB	-58,4%	-56,7%	-45,2%	-70,2%
Basse énergie	-70,9%	-70,0%	-59,2%	-74,5%
Passif	-92,7%	-92,5%	-89,8%	-93,6%

Ces résultats confirment le potentiel important de la rénovation énergétique du bâti et confirme aussi l'hypothèse de départ de la recherche SAFE, qui postulait d'aborder la question des territoires périurbains par l'angle de l'énergie, en particulier des consommations de chauffage des bâtiments résidentiels et du transport des personnes. Elles montrent aussi l'intérêt de mener des actions de rénovation globales, pensées à l'échelle des quartiers, pour obtenir des résultats optimaux.

Pour conclure cette section, les graphiques suivants présentent la répartition des consommations relatives au chauffage des bâtiments et au transport des personnes (domicile-travail et domicile-école, calcul selon la méthode présentée dans la fiche SAFE. MOB01) de chaque quartier (consommations relatives au transport en rouge et au chauffage des bâtiments en bleu) pour chaque scénario de rénovation énergétique du bâti (en l'état actuel en haut à gauche, en rénovation conforme aux exigences de la PEB

pour les nouvelles constructions en haut à droite, en « basse énergie » en bas à gauche et en « passif » en bas à droite).

Le chauffage des bâtiments est le poste le plus important, en l'état actuel, en raison de l'âge élevé et du faible taux d'isolation du bâti existant. Le premier scénario de rénovation énergétique (« PEB ») inverse cette tendance, sauf pour le quartier QU.2, où les consommations énergétiques relatives au transport des personnes sont relativement peu élevées, en comparaison avec les autres quartiers. Il faut en effet atteindre une rénovation « passive » dans ce quartier pour que le bâti soit comparativement moins énergivore que le transport alors que pour les trois autres quartiers, le transport devient le poste le plus important dès l'application du premier scénario de rénovation (« PEB »).

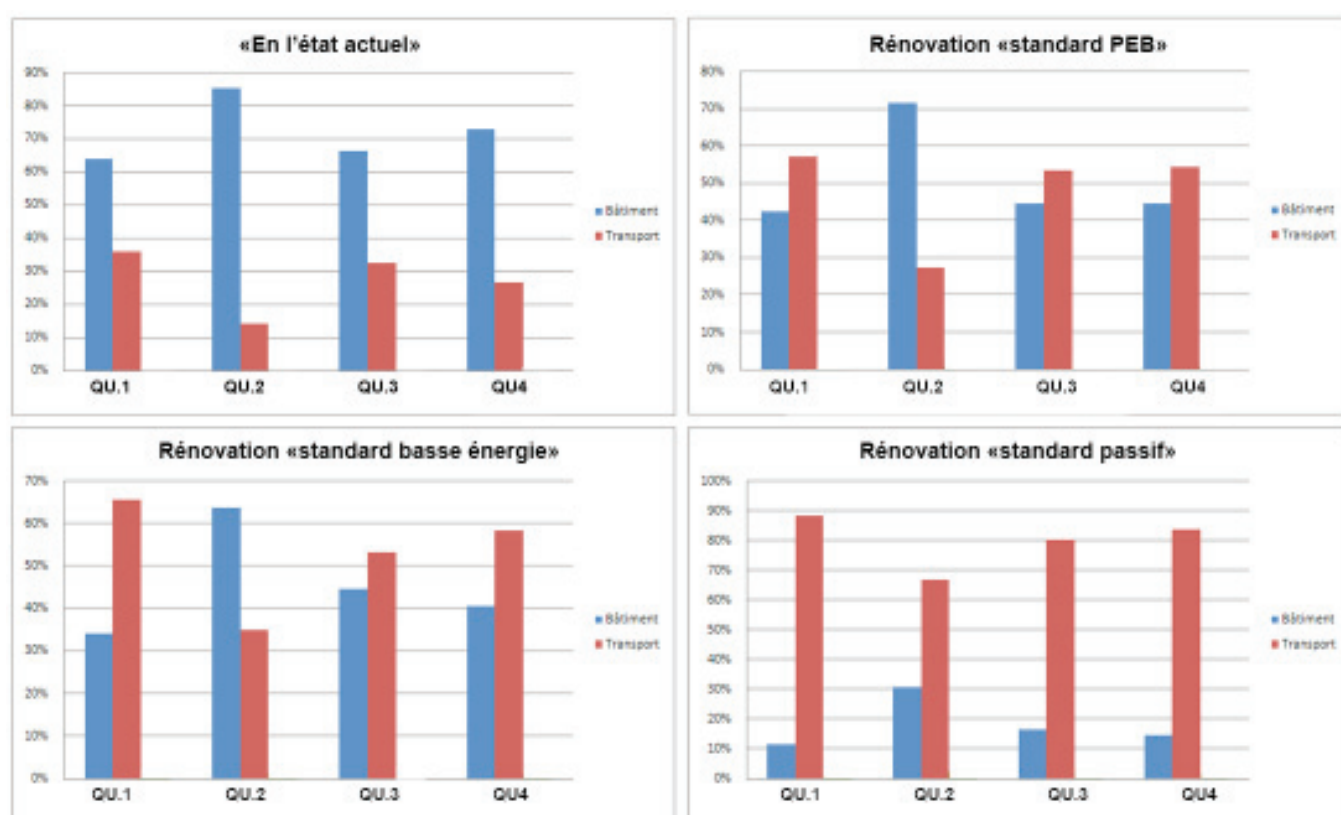


Figure 3 : Répartition des consommations énergétiques des 4 quartiers-types, en l'état actuel, [a, en haut à gauche], en rénovation « PEB » [b, en haut à droite], en « basse énergie » [c, en bas à gauche] et en « passif » [d, en bas à droite]

Le croisement des paramètres

Trois paramètres relatifs à la forme urbaine ont été testés dans ce chapitre (l'orientation, la continuité du bâti et le la consommation des bâtiments en phase d'utilisation) de façon individuelle, ce qui signifie qu'un seul paramètre est soumis à des variations,

les autres caractéristiques restant fixes. Nous avons finalement réalisé une série de simulations thermiques dynamiques destinées à évaluer l'impact conjoint de ces trois paramètres, pour un bâtiment-type. Le bâtiment soumis à cette étude est une maison de 120m². Trois types de continuité sont considérés : une maison isolée (4 façades / 4F), une maison semi-mitoyenne (3 façades / 3F) et une maison mitoyenne (2 façades / 2F). Trois variantes d'isolation et huit variantes d'orientation (0° signifie que la façade vitrée est orientée au sud, pas de 45°) sont testées.

Des 72 variantes ainsi définies dans le tableau suivant pour un même gabarit d'habitation, c'est la maison mitoyenne, isolée et bien orientée (marquée par un * dans le tableau) qui présente les meilleures performances énergétiques (57 kWh/m².an). Le gain par rapport à la situation la plus défavorable (**, pas d'isolation, 4 façades, orientation de la façade vitrée au nord) s'élève à 257 kWh/m².an.

Tableau 3 : Consommations de chauffage (kWh/m².an) obtenues avec Pleiades + Comfie pour une maison-type, pour différentes variantes d'isolation, de mitoyenneté et d'orientation.

kWh/ m ² .an	Pas d'isolation + SV [1950 – 1981[			Isolation légère + DV [1981–1996]			Isolation standard + DV [1996–2008]			Δ ligne
	4F	3F	2F	4F	3F	2F	4F	3F	2F	
0°	306	276	248	95	84	74	73	64	57*	81,4%
45°	306	276	248	95	84	74	73	64	57	81,4%
90°	308	278	250	97	85	77	75	66	60	80,5%
135°	309	280	253	99	88	79	76	67	62	79,9%
180°	310**	280	253	100	88	79	77	69	62	80,0%
225°	310**	280	253	100	89	79	77	69	62	80,0%
270°	309	279	252	99	88	78	76	69	61	80,3%
315°	307	278	251	97	86	76	74	66	59	80,8%
Δ col.	1,3%	1,4%	2,0%	5,0%	5,6%	6,3%	5,2%	7,2%	8,1%	

On remarque également que :

- C'est l'isolation qui a l'impact le plus important en termes de consommations énergétiques de chauffage. Pour un même type de mitoyenneté (4F, 3F ou 2F), les gains engendrés par une meilleure isolation sont compris entre 75,4% et 77,0 % ;
- Les gains dus à l'isolation semblent d'autant plus importants que l'orientation est bonne ;
- Pour une orientation donnée, les deux situations les plus extrêmes en termes de consommations énergétiques sont la maison « 4 façades » non isolée et la maison mitoyenne isolée. La différence entre ces deux cas est reprise dans la dernière colonne du précédent tableau (Δ ligne) ;



- Pour un niveau d'isolation donné, l'impact de l'orientation est d'autant plus important que la mitoyenneté est grande, ce qui peut s'expliquer par la moindre superficie vitrée des maisons mitoyennes ;
- Toutes autres choses restant égales, l'impact de l'orientation augmente avec le niveau de mitoyenneté et l'isolation du bâtiment (Δ colonne). Les conclusions mentionnées ci-dessus, dans la section qui traite de l'orientation du quartier, sont donc bel et bien spécifiques aux quartiers étudiés, et plus généralement à de nombreux quartiers existants (voir notamment Maïzia et al. (2009)). L'orientation n'a que peu d'influence dans les cas où les principes bioclimatiques ne sont pas appliqués. Elle reste toutefois un facteur important, notamment dans la cadre de nouvelles constructions, et doit être prise en compte tant en construction qu'en rénovation pour améliorer les performances énergétiques du bâti et des quartiers périurbains.

Synthèse

L'influence de trois paramètres qui relèvent de la forme urbaine sur les consommations énergétiques relatives au chauffage des bâtiments et des quartiers périurbains existants a été étudiée. Cette approche complète celle développée à l'échelle du bâtiment [fiches SAFE.BAT03/04/05/06/07/08/09]. Le paramètre le plus influent pour améliorer l'efficacité énergétique du bâti périurbain est incontestablement l'isolation des bâtiments qui composent le quartier. Cette conclusion est d'autant plus importante qu'une enquête exploratoire menée dans le périurbain francilien en 2008 montre que la principale réponse apportée par les ménages à la hausse du coût du carburant est de réaliser des travaux d'amélioration thermique de leur logement (Desjardins et Llorente, 2009). Des opérations menées à l'échelle du quartier dans son ensemble sont à privilégier.

La mitoyenneté est le second paramètre le plus influent. Ce résultat plaide pour une rénovation des quartiers périurbains existants par densification (en priorité dans les quartiers qui présentent une bonne localisation, une bonne mixité et une bonne desserte en transport en commun). La question de la densification des quartiers existants sera abordée ultérieurement dans une nouvelle fiche pratique. L'orientation du bâti, combinée à une meilleure prise en compte des principes bioclimatiques, notamment la répartition des surfaces vitrées sur les façades, peut également améliorer l'efficacité énergétique des quartiers périurbains. Enfin, les gains solaires reçus par les toitures et façades des bâtiments périurbains sont importants et devraient être exploités lors de la conception des nouveaux quartiers et bâtiments (urbanisme et architecture bioclimatiques) mais aussi via le recours à des énergies renouvelables basées sur le solaire.

En parallèle aux réflexions développées dans cette fiche qui traitent des solutions à appliquer aux quartiers périurbains existants, il convient aussi de se poser la question de l'opportunité de continuer à développer, sur le territoire wallon, des quartiers mono-fonctionnels, très peu denses, surtout lorsqu'ils sont situés à des distances importantes des lieux d'emplois, commerces, etc.





Références

- Cherqui F. [2005]. Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier. Méthode ADEQUA. Thèse de doctorat pour l'obtention du grade de docteur de l'université de La Rochelle, discipline génie civil.
- Desjardins X., Llorente M. [2009]. Quelle contribution de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire à l'atténuation du changement climatique ? Revue de la littérature scientifique sur le lien entre les formes d'organisation territoriale, les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre. CSTB, Département Economie et Sciences Humaines, Laboratoire de Sociologie Urbaine Générative
- Djupkas O.T., Nesbakken R. [1995]. Energy use in household 1993. SSB Report 95/10, Oslo.
- Hanson C. [1996] The cohousing handbook – Building a Place for a Community. Hartley & Marks Publishers, USA, 255p.
- Holden E. [2001]. Housing as basis for sustainable consumption. Thèse de doctorat 2001, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Holden E., Norland T. I. [2005]. Three challenges for the compact city as a sustainable urban form : Household consumption of energy and transport in eight residential areas in the greater Oslo region. Urban Studies, Vol. 42, N° 12, 2145-2166, Novembre 2005.
- Kints C. [2008]. La rénovation énergétique et durable des logements wallons. Analyse du bâti existant et mise en évidence des typologies de logements prioritaires. Etude réalisée pour MRW-DGTRE dans le cadre de l'IEA-SHC-Task 37 et effectuée en collaboration avec le projet LEHR pour le compte de la politique scientifique fédérale
- Maizia M., Sèze C., Berge S., Teller J., Reiter S., Ménard R. [2009] Energy requirements of characteristic urban blocks. CIS-BAT 2009, actes du colloque, p439-444.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2012b. A method to evaluate the energy consumption of suburban neighborhoods. HVAC&R Research Journal 18 (1-2): P.88-99.
- de Meester T. [2009]. Guide de la rénovation basse énergie des logements en Belgique. LEHR, Low Energy Housing Retrofit. <http://www.lehr.be>
- Owens S. [1995]. A response to Michael Breheny. Transactions of the Inst of Br geographers. 1995; 20:381-86.
- Popovici E., Peuportier B. [2004] Using life cycle assessment as decision support in the design of settlements. PLEA – The 21th Conference on Passive and Low Architecture. Eindhoven. The Netherlands, 6p.
- Ratti C., Baker, N., Steemers, K. [2005]. Energy consumption and urban texture. Energy and Buildings, n°37, p762-776.
- Rey E. [2008]. Quels processus pour la création d'un quartier durable : l'exemple du projet Ecoparc à Neuchâtel. Actes du colloque de l'ADEF, Paris.



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier les deux fiches suivantes qui sont consacrées au transport et à la mobilité en milieu périurbain :

- SAFE.MOB02 : Consommations d'énergie dans le transport et structure du territoire en Wallonie
- SAFE.MOB03 : Comment réduire vos consommations d'énergie « transport » ?

Les méthodes utilisées pour évaluer les consommations d'énergie relatives au chauffage du logement sont proposée dans la fiche suivante :

- SAFE.BAT02 : Comment sont calculées vos consommations « logement » dans notre outil ?

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lema.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be

Références et publications scientifiques de l'équipe en lien avec cette fiche

- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2012b. A method to evaluate the energy consumption of suburban neighborhoods. HVAC&R Research Journal 18 (1-2): P.88-99.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2012. A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. Environmental Impact Assessment Review 33, 1-6.
- Marique, A.-F, Dujardin, S, Teller, J, & Reiter, S. 2011. Urban Sprawl and Travel Energy Consumption: the Case of the Walloon Region of Belgium. Irish Transport Research Network Conference, Energy & Transport, Programme and Proceedings, Cork, Ireland.
- Wallemacq, V, Marique, A.-F, & Reiter, S. 2011. Development of an urban typology to assess residential environmental performance at the city scale. In Bodard. M., Evrard A (Ed.), Proceedings of International Conference PLEA 2011 : Architecture &





Sustainable Development (pp. 119-125). Presses Universitaires de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgium.

- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2010. A method to assess transport energy consumptions in suburban areas. Proceedings of the PLUREL International Conference: Managing the Urban Rural Interface, Copenhagen, Denmark.
- Marique, A.-F. & Reiter, S. 2010. A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighbourhood scale. Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in buildings, Syracuse, USA.



Auteurs de la fiche

LEMA

Université de Liège

A.F. Marique et Prof. S. Reiter

Chemin des Chevreuils, 1 B52/3

4000 Liège

Afmarique@ulg.ac.be

+32 4 366 93 67

<http://www.lema.ulg.ac.be/>



Suburban Areas Favoring Energy efficiency



grand public, promoteur, architecte, etc



Général, Quartier, Rénovation



SAFE.QUA03

Le parc de logement wallon : présentation, évaluation et approche de son évolution



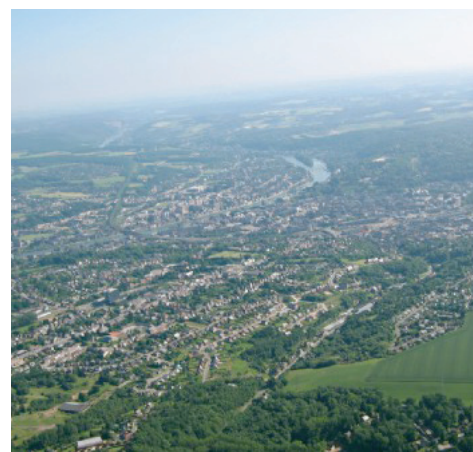
Les points principaux

- La situation de bâtiment en Belgique et en Région wallonne est présentée afin de mieux comprendre les enjeux énergétiques du stock de logements en Région wallonne dont 70% date d'avant la première crise pétrolière.
- 10 scénarios d'évolution des consommations dues au chauffage du stock de logements en Région wallonne sont présentés à l'échelle d'un bâtiment et à l'échelle de tout le stock.
- 5 scénarios sont développés sur une période de 50 ans permettant d'approcher l'impact de ces différents scénarios à long terme en fonction d'un taux d'accroissement et d'un taux de rénovation des stocks de logements.



Résumé

La Belgique se trouve actuellement dans un tournant stratégique concernant l'utilisation rationnelle de l'énergie avec l'introduction de la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) qui va l'obliger à remédier à certains de ses manques en la matière. En Région wallonne, 70% du parc date d'avant la première crise pétrolière et 45% date d'avant la Seconde Guerre mondiale. Le parc est donc assez vieux et par conséquent très peu performant énergétiquement. L'évolution de ce parc pose question et c'est pourquoi, cette fiche propose une approche qui envisage différents scénarios de rénovation impliquant des mesures locales et des mesures globales. Différents scénarios d'évolution du parc sont également abordés sur une période allant de 2011 à 2051.



© Photo : Marc Ronvaux

SAFE : Suburban Areas Favoring Energy efficiency



Financé par la Région Wallonne, DGO4, programme mobilisateur energywall

Avril 2012

Evaluation du parc de logements wallons et approche de son évolution à travers différents scénarios

La Belgique se trouve actuellement dans un tournant stratégique concernant l'utilisation rationnelle de l'énergie avec l'introduction de la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) qui va l'obliger à remédier à certains de ses manques en la matière. En Région wallonne, 70% du parc date d'avant la première crise pétrolière et 45% date d'avant la Seconde Guerre mondiale. Ce parc de logements est donc assez vieux et par conséquent très peu performant énergétiquement. Les bilans énergétiques mettent en avant l'importance du chauffage occupant environ 75% de la facture énergétique des logements. L'avenir énergétique du stock bâti est donc à suivre de près afin d'inciter aux rénovations énergétiques performantes.

Le parc de logements en Région wallonne

Etat des lieux du bâti wallon

La Région wallonne compte environ 1261310 logements et ce nombre de logements croît à raison de 1% par an. La répartition de ces logements en fonction de leur type est illustrée par la Figure1.

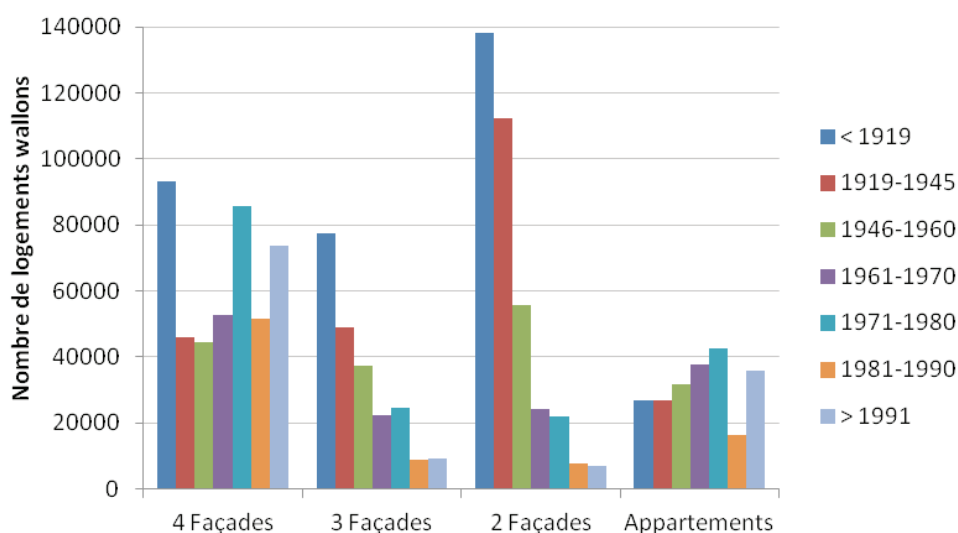


Figure1 : Nombre de logements par type de logement, croisement entre le type et l'époque (Kints C., 2008)

Les maisons 4 façades sont les plus répandues en Région wallonne (447392) suivie par les 2 façades (367326) puis par les 3 façades (228804) et enfin par les appartements (217788). L'évolution des constructions d'un type plutôt que d'un autre a varié au cours des différentes périodes représentées. La figure ci-dessus et la suivante illustrent cette évolution où l'on peut constater le grand intérêt pour les maisons 2 façades au début du 20ème siècle qui va diminuer tout comme le nombre global de nouvelles constructions. Entre 1971-1980, une hausse se fait ressentir notamment avec la construction de maisons 4 façades (Figure 2). Cela révèle la distinction entre l'agglomération et la banlieue car les logements situés en agglomération sont en moyenne plus anciens suite au développement concentrique des pôles urbains. Et c'est à partir des années 60, que les ménages vont commencer à s'installer à l'extérieur des villes sans s'en éloigner complètement dans un premier temps. Cet étalement urbain est intimement lié au développement des moyens de communication (Kints C., 2008).

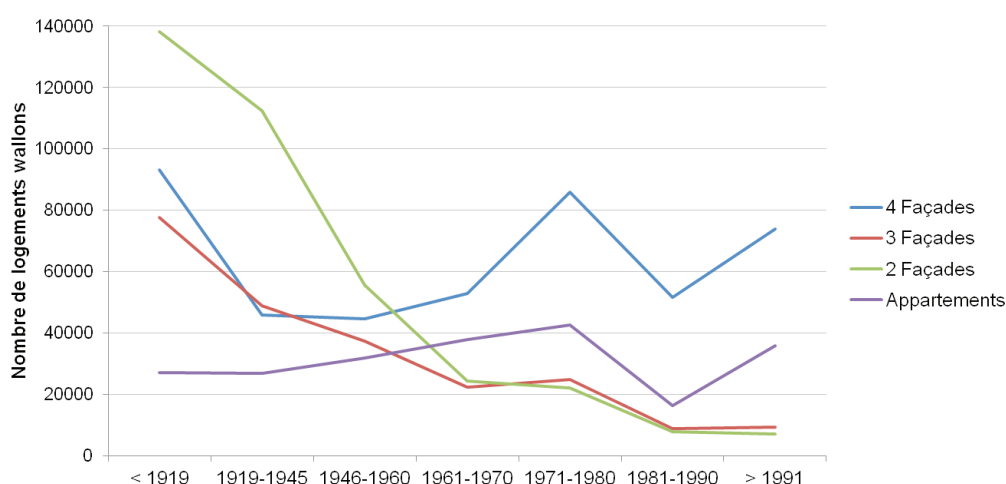


Figure 2 : Evolution du nombre de logements construits en fonction de leur type

Les deux figures précédentes illustrent ce lien entre la configuration des logements et leur ancienneté. Les maisons mitoyennes sont prépondérantes jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, ensuite leur part devient de plus en plus faible. Si les maisons « 4 façades » sont déjà nombreuses avant 1919, elles deviennent majoritaires à partir des années 60. Les appartements ont une répartition relativement homogène (excepté dans les années 1980-1990 où ils sont moins nombreux) (Figure 3). (Kints C., 2008) La Région wallonne est composée à 35% de maisons séparées dites souvent « 4 façades » ce qui représente un coût énergétique plus important à niveau d'isolation égale mais présente l'avantage de bénéficier de plus d'espaces autour du bâtiment pour favoriser une rénovation globale du bâtiment au moyen d'une isolation par l'extérieur. Le caractère patrimonial doit évidemment être pris en compte ce qui rend bien souvent cette isolation par l'extérieure difficile. 68% des maisons 2 façades datent du début du 20ème siècle et représentent également un potentiel de rénovation (Figure 3).

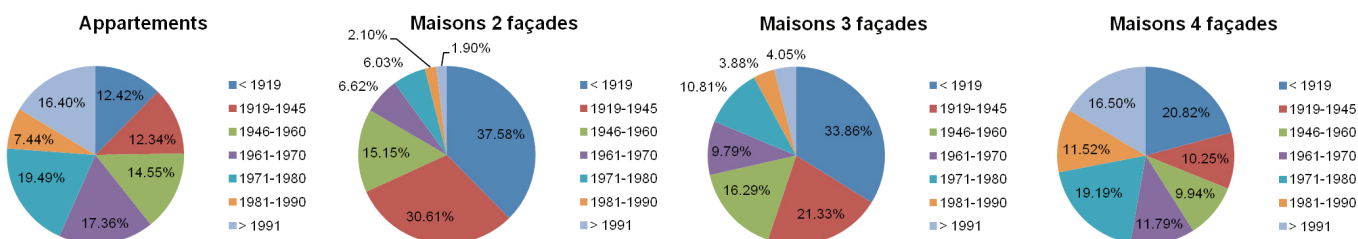


Figure 3 : Répartition des années de construction par type de logement

Situation énergétique des logements wallons

Les bilans énergétiques belges mettent en avant l'importance du chauffage sur la facture puisqu'environ 75 % de l'énergie résidentielle utilisée par les ménages sert à chauffer leur logement (voir figure 4) et rapportée en énergie primaire, cela devient environ 57% suite à l'utilisation de l'électricité par les électroménagers (figure 5).

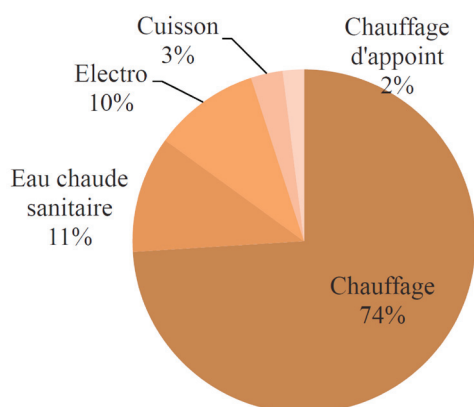


Figure 4 : Répartition des consommations des logements en fonction du type d'occupation en Wallonie (Source ICEDD Bilan énergétique wallon 2005)

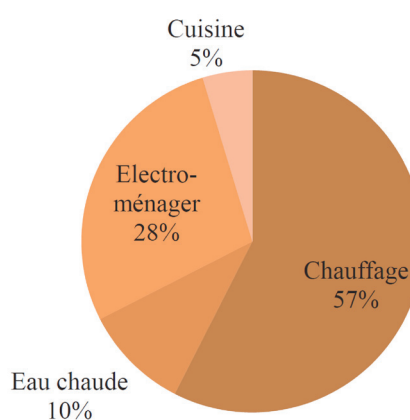


Figure 5 : Proportion d'énergie primaire utilisée par le résidentiel où en terme d'énergie primaire, l'électroménager pèse nettement plus lourd, réduisant l'importance du chauffage (qui reste cependant le plus gros poste). (Source : Test-Achats, 2007)

Cette situation énergétique des bâtiments est liée à leur époque de construction. En effet, en Région wallonne, 70% du parc de logements date d'avant la première crise pétrolière et 45% date d'avant la Seconde Guerre mondiale comme l'atteste le tableau ci-dessous (Tableau 1). Cela démontre que le parc de logement belge est assez vieux et par conséquent très peu performant énergétiquement.

Tableau 1 : Logements selon l'année de construction et la région (en %) (Source: INS - RPL 1991 et ESE 2001, calculs OASeS cité dans (Vaneste D. et al., 2007))

Année de création	Région wallonne		Région de Bruxelles- Capitale		Région flamande		Belgique	
	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001
Avant 1919	33,2	27,1	17,3	15,9	12,6	9,3	19,5	15,4
1919 – 1945	17,3	18,1	25,2	26,3	16,8	15,1	17,7	17,0
1946 – 1970	27,1	23,7	41,1	37,7	37,7	31,9	34,7	29,8
1971 – 1980	15,7	14,0	12,7	11,2	20,7	17,2	18,4	15,7
1981 – 1990	6,7	7,0	3,7	3,5	12,2	11,2	9,7	9,3
1991 – 2000	-	10,1	-	5,4	-	15,3	-	12,9
Transformations de 1991 à 2001	9,2	10,8	5,6	9,4	6,4	9,8	7,2	10,1

On peut observer que le nombre total de travaux de transformations augmente fortement en Belgique et entre 1991 et 2001, ce sont 353.587 logements qui ont été rénovés. La Région wallonne rénove davantage que les 2 autres Régions même si un mouvement de rattrapage a été enclenché. Ces transformations proviennent de la tendance actuelle qui est à l'achat d'une maison ancienne et du fait que les ménages adaptent de plus en plus leurs logements au cours du temps afin de les faire correspondre à leurs goûts et d'adapter la taille du logement à leur évolution personnelle. C'est donc près d'1% des logements qui font l'objet d'une transformation chaque année (à titre privé ou en vue d'une location). Les travaux de rénovation les plus fréquents concernent :

- le remplacement de portes et de châssis
- l'amélioration de revêtements de sols abîmés
- la mise en conformité des installations électriques et de gaz
- le remplacement des toitures
- l'évacuation des eaux pluviales
- le remplacement ou renforcement des charpentes
- l'assèchement des murs

Ceci provient de l'enquête-qualité 2007 dont le questionnaire ne prenait pas en compte les travaux visant l'amélioration thermique. Ce taux de 1% est donc probablement sous-estimé. Et il reste cependant assez difficile d'évaluer le nombre de rénovations totales car beaucoup de ces rénovations ne nécessitent pas de permis d'urbanisme, notamment celles visant à améliorer la performance énergétique des bâtiments.

L'âge du bâti et leur transformation sont liés : la moitié des logements transformés datent d'avant 1946 (voir Figure ci-dessous).

Remarquons cependant que la proportion de transformations des logements anciens construits jusqu'en 1960, diminue entre 1991 et 2001. Et a contrario, les logements construits après 1961 font davantage l'objet de transformations qu'auparavant en 2001 par rapport à 1991. (Vanneste D. et al., 2007 et Kints C., 2008)

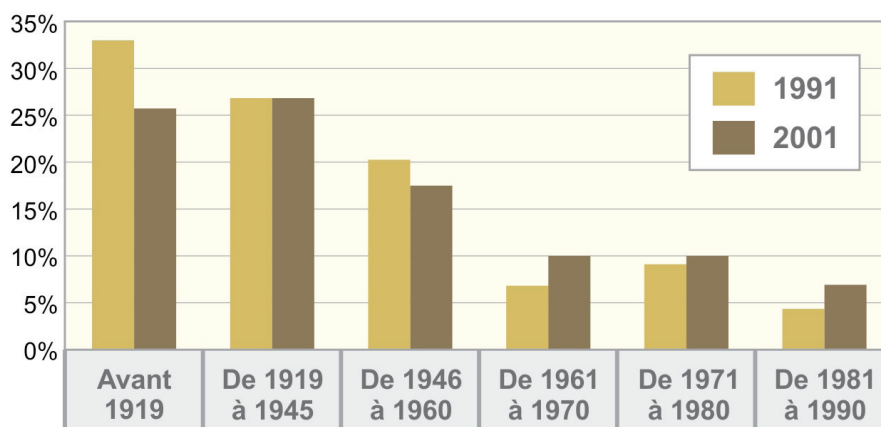


Figure 6 : Logements transformés selon l'année de construction (en %) ((Vanneste D. et al., 2007)

L'étude de Kints (Kints C., 2008) et de Vanneste (Vanneste D. et al., 2007) donne un bon aperçu de la situation énergétique des bâtiments en Belgique et en Région wallonne malgré qu'il soit difficile de discerner dans les chiffres, ceux concernant la ville et ceux concernant le périurbain et le rural. Il y a, donc en tout, 64.10% de bâtiments n'étant pas isolé, 7% ayant une isolation partielle et 28.90% ayant une isolation totale. Les bâtiments possédant de l'isolation (soit 35.90%) peuvent être répartis comme suit :

- 18% avec 1-3cm
- 38% avec 4-6cm
- 16% avec 7-10 cm
- 28% inconnu

Les plus anciens bâtiments possèdent un potentiel énorme de rénovations énergétiques car ils sont extrêmement mal isolés comme l'illustre la figure ci-dessous. En effet, elle révèle que c'est à partir des crises énergétiques des années 70 que l'isolation des murs commence lentement à se généraliser. Mais il en ressort que lors de rénovations ou transformations, si l'isolation des toitures et le remplacement des fenêtres sont des pratiques courantes, la post-isolation des murs reste cependant très rare. (Kints C., 2008)

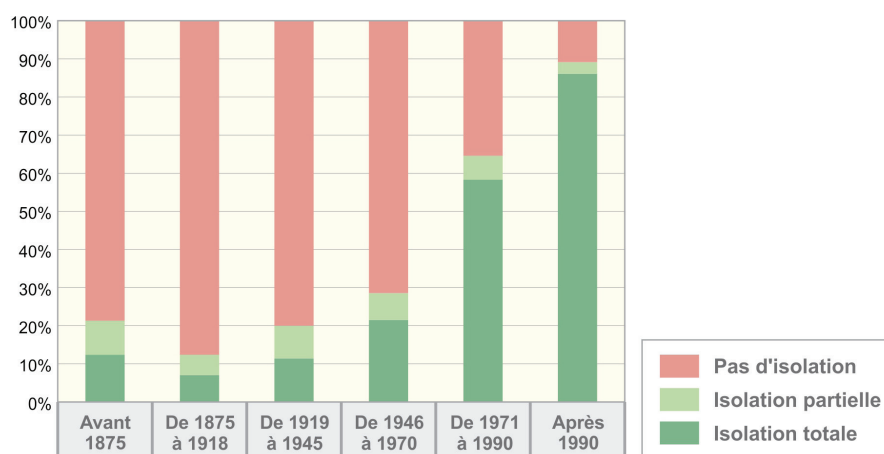


Figure 7 : Pourcentage des logements ayant des murs isolés en fonction de leur époque de construction (Kints C., 2008)

Pour diminuer les consommations énergétiques des bâtiments, la rénovation des bâtiments existants apparaît comme une excellente solution. L'idéal est évidemment de lier travaux de réhabilitation et rénovation énergétique globale.



Evaluation de l'impact de rénovations et stratégies d'évolution du stock bâti

Evaluation du potentiel d'économie d'énergie du bâti wallon : les scénarios

L'évaluation du potentiel d'économie d'énergie du stock de logements wallons se base sur les études de Kints, de Vanneste et d'Evrard (Kints C., 2008, Vanneste D. et al., 2007 et Evrard A. et al., 2012). Celles-ci ont permis de comprendre la constitution du parc de logements en fonction des années de construction et des types de logements, de lier les niveaux de performances du logement par rapport à l'époque de construction, d'établir des hypothèses d'évolution du parc, etc.

En appliquant les données relatives à la constitution du parc, à cette évaluation du stock de logements, et sur base des simulations effectuées dans le cadre de l'étude SAFE, une répartition des consommations dues au chauffage et à la ventilation en fonction des différents types de bâtis a été développée afin de correspondre le plus possible à la réalité. Cette analyse prend en compte 3 types de logements : le « 4 façades », le « 3 façades » et le « 2 façades ». Les résultats des simulations de bâtiments



ont donc été répartis afin de reconstituer le parc de logement en fonction des performances des différents bâtiments en fonction de leur période de construction et des trois types étudiés. La reconstitution du parc de logement est établie pour un état actuel qui évoluera en fonction des scénarios de rénovations et de ceux d'évolutions. Les résultats sont repris des simulations de bâtiments de 85 m² (taille moyenne des logements en Région wallonne), à différents niveaux de performances énergétiques et pour les 3 types différents. Les simulations thermiques dynamiques prises en compte dans cette étude se basent sur un climat d'Uccle et sur un thermostat fixé à 20 °C dans les pièces occupées avec une diminution de la température à 16 °C durant la nuit et en journée. Les simulations ont été modélisées en essayant d'être les plus représentatives au niveau de leurs conditions internes : le mode d'occupation et les consignes d'utilisation sont considérés comme moyens. (La fiche « Comment sont calculées les consommations relatives au logement dans l'outil SAFE ? » vous donne plus de détails concernant la modélisation des bâtiments simulés).

Le tableau ci-dessous reprend les consommations moyennes par logement dues au chauffage et à la ventilation du stock de logements wallons et les consommations dues au chauffage et à la ventilation à l'échelle du stock de logements. Le système de chauffage est considéré au mazout, combustible le plus répandu en Région wallonne et le rendement global moyen des installations de chauffages a été posé à 70%. Un rendement des systèmes de chauffage de 80% est considéré pour les nouveaux bâtiments et pour les bâtiments après rénovation. Les nouvelles constructions [NC] correspondent au standard actuel (E 80 et Espec 130). Notons que la consommation moyenne pour le chauffage des maisons en Région wallonne est de 20 530 kWh et que celle obtenue par cette étude est de 20 360 kWh (différence de 0.83%).

Le tableau suivant propose différents scénarios de rénovation afin de voir l'impact de différentes mesures à l'échelle d'un logement mais également au niveau de tout le stock. En tout, ce sont 12 scénarios tantôt optimistes, tantôt plus réalistes qui ont été appliqués au stock bâti existant :

1. 1% de nouvelles constructions : ce scénario considère uniquement le taux d'accroissement du stock à travers les nouvelles constructions sans tenir compte des éventuelles transformations ;
2. Tous les vitrages deviennent des doubles vitrages performants : ce scénario de rénovation s'applique sur tout le stock et concerne tous les bâtiments ayant des simples vitrages ou des doubles vitrages anciens ;
3. Tous les toits (non isolés ou peu isolés) sont isolés avec 16 cm : ceci considère un renforcement général de l'isolation des toits des bâtiments ayant moins de 16 cm dans leur toit ;
4. Tous les vitrages deviennent des doubles vitrages performants et tous les toits (non isolés ou peu isolés) sont isolés avec 16 cm : ce scénario cumule les scénarios 2 et 3 ;
5. Tous les bâtiments construits après 1971 deviennent basse énergie : ce scénario considère que tous les logements construits après 1971 subissent une rénovation énergétique les rendant basse énergie ;
6. Tous les bâtiments construits entre 1961 et 1980 deviennent basse énergie : Idem qu'au scénario 5 mais pour une autre période où beaucoup de bâtiments « 4 façades » ont été construits ;
7. 1% est rénové en basse énergie : ce scénario considère un taux de rénovation énergétique du stock de 1% ce qui correspond au taux de transformations en Région wallonne mais 1% de rénovation atteignant un niveau basse énergie est très



important et donc assez théorique ;

8. 2% est rénové en basse énergie : idem qu'au scénario 7 mais avec un taux plus élevé ;
9. 1% de nouvelles constructions + 1% est rénové en 6 cm T16cm DVP : Ici, un taux d'accroissement du stock est considéré à 1% (valeur réelle) et un taux de rénovation de 1% est pris en compte pour la rénovation du stock en des bâtiments à 6 cm d'isolation dans les murs, 16 cm dans le toit et possédant du double vitrage performant ;
10. 1% de nouvelles constructions + 2% est rénové en 6 cm T16cm DVP : Idem qu'au 9, ici le taux de rénovation est fixé à 2%;
11. 1% de nouvelles constructions + 1% est rénové en basse énergie : Idem qu'au 9 si ce n'est que la rénovation est considérée comme atteignant un niveau basse énergie ; et
12. 1% de nouvelles constructions + 2% est rénové en basse énergie : Idem qu'au 11 mais le taux de rénovation est ici à 2%.

Tableau 2 : Approche du bilan des consommations de chauffage et de ventilation du bâti wallon et scénario de rénovation de celui-ci

	Stock de logements wallon rapporté à l'échelle d'un bâtiment de 85m ²				Stock de logements wallon				
	Consommation de chauffage (kWh/m ² an)	Consommation de chauffage (kWh)	Emissions de CO ₂ dues au chauffage (kg de CO ₂)	Réduction des consommations par rapport à l'état actuel (%)	Consommation de chauffage (TWh)	Emissions de CO ₂ dues au chauffage (Tg de CO ₂)	Différence de consommation de chauffage (TWh)	Différence d'émissions de CO ₂ dues au chauffage (Tg)	Réduction des consommations par rapport à l'état actuel (%)
Etat actuel (1 261 310 Logements)	239.53	20360.32	5375.13		25.68	6.78		0.00	
1 1% de nouvelles constructions	238.17	20244.64	5344.58	0.57%	25.79	6.81	-0.11	-0.03	-0.43%
2 Tous les vitrages deviennent des doubles vitrages performants	218.30	18555.20	4898.57	8.87%	23.40	6.18	2.28	0.60	8.87%
3 Tous les toits (non isolés ou peu isolés) sont isolés avec 16 cm	217.12	18454.82	4872.07	9.36%	23.28	6.15	2.40	0.63	9.36%
4 Tous les vitrages deviennent des doubles vitrages performants et tous les toits (non isolés ou peu isolés) sont isolés avec 16cm	195.52	16618.82	4387.37	18.38%	20.96	5.53	4.72	1.25	18.38%
5 Tous les bâtiments construits après 1971 deviennent basse énergie	205.54	17470.95	4612.33	14.19%	22.04	5.82	3.64	0.96	14.19%
6 Tous les bâtiments construits entre 1961 et 1980 deviennent basse énergie	199.92	16993.31	4486.23	16.54%	21.43	5.66	4.25	1.12	16.54%
7 1% est rénové en basse énergie	236.34	20089.20	5303.55	1.33%	25.34	6.69	0.34	0.09	1.33%
8 2% est rénové en basse énergie	237.94	20224.76	5339.34	0.67%	25.51	6.73	0.17	0.05	0.67%
9 1% de nouvelles constructions + 1% est rénové en 6 cm T16cm DVP	236.78	20126.18	5313.31	1.15%	25.64	6.77	0.04	0.01	0.16%
10 1% de nouvelles constructions + 2% est rénové en 6 cm T16cm DVP	235.39	20007.73	5282.04	1.73%	25.49	6.73	0.19	0.05	0.75%
11 1% de nouvelles constructions + 1% est rénové en basse énergie	236.59	20110.42	5309.15	1.23%	25.62	6.76	0.06	0.02	0.24%
12 1% de nouvelles constructions + 2% est rénové en basse énergie	235.01	19976.20	5273.72	1.89%	25.45	6.72	0.23	0.06	0.91%

Le scénario 4 fournit une belle diminution des consommations dues au chauffage. Cela est révélateur du nombre de toits mal isolés et du nombre de vitrages peu performants or ce sont des mesures facilement mises en pratique. Le scénario 6 a également un bel effet dû à l'exigence de la performance à atteindre suite à la rénovation et au fait que cela touche un très grand nombre de logements qui sont en majorité des « 4 façades » et en partie construits avant 1970. Les TWh économisables à l'échelle du stock de logements sont non négligeables. Les scénarios de 9 à 12 ont un effet moins important mais correspondent davantage à une réalité et sont à regarder sur une longue période.

Evolution énergétique du stock de logements

Les scénarios alliant un taux d'accroissement du stock et un taux de rénovation énergétique (les scénarios 1 et 9 à 12) sont plus réalistes et applicables sur un long terme. C'est pourquoi il est intéressant de se baser sur eux pour analyser l'évolution énergétique du stock de logements à long terme.

La figure ci-dessous montre l'évolution de 5 scénarios d'évolution du stock à travers les consommations dues au chauffage et à la ventilation de logements sur une période qui s'étalent de 2011 à 2051. Cela permet de réaliser les gains énergétiques par logement qu'il serait possible d'obtenir selon l'un ou l'autre scénario car le renouvellement du stock et sa rénovation permettent en moyenne d'améliorer les qualités énergétiques des bâtiments.

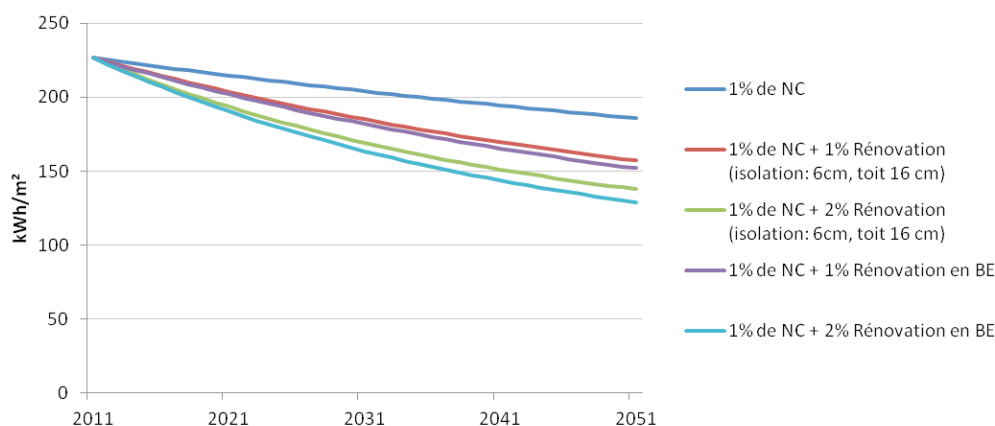


Figure 8 : Evolution des consommations moyennes par logement dues au chauffage et à la ventilation (en kWh/m²/an) du stock de logements en Région wallonne de 2011 à 2051, suivant 5 scénarios : 1, 9, 10, 11 et 12. Les nouvelles constructions [NC] issues du taux d'accroissement correspondent au standard actuel (Escpec < 130)

La Figure suivante considère à présent ces différents scénarios à l'échelle de tout le stock de logements et montre qu'avec l'augmentation du nombre de bâtiments (taux d'accroissement de 1%), les consommations augmentent soit un peu, soit, dans les meilleurs cas, diminuent. A l'échelle du stock, ces scénarios ont un effet estompé. Cela montre que si on veut garder les consommations de tout le parc, dues au chauffage, équivalentes à celles actuelles, il faut contrebalancer les nouvelles consommations issues de l'accroissement du stock par la rénovation de logements déjà existants. Cet équilibre n'est possible qu'au moyen de rénovations énergétiques relativement performantes et globales (impliquant toute l'enveloppe du bâtiment). Si les rénovations sont encore plus performantes (scénario 10 et 12), alors il devient possible de diminuer les consommations dues au chauffage.

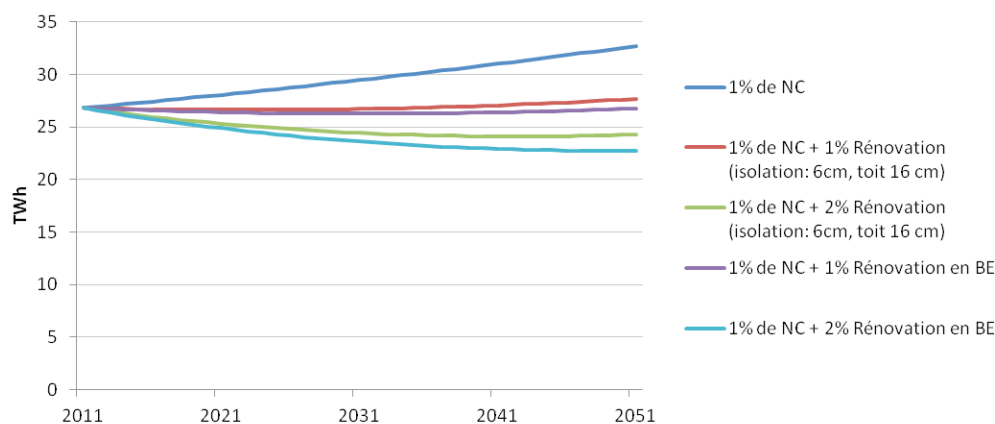


Figure 9 : Evolution de 2011 à 2051 des consommations dues au chauffage et à la ventilation (en TWh) du stock de logements en Région wallonne, suivant 5 scénarios : 1, 9, 10, 11 et 12. Les nouvelles constructions [NC] issues du taux d'accroissement correspondent au standard actuel (Escpec < 130)

Le tableau ci-dessous représente les différences en TWh et les réductions en % des consommations entre les différents scénarios et la situation actuelle sur 40 ans, lorsque les nouvelles constructions correspondent au standard actuel (Escpec < 130).

Tableau 3 : Différences et réductions des consommations dues au chauffage et à la ventilation entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 à travers différents scénarios d'évolution

Scénario d'évolution	1	7	8	9	10
Différence des consommations du stock entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en TWh)	-5.91	-0.87	2.53	0.04	4.07
Réductions des consommations moyennes du stock entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en %)	-22.03%	-3.25%	9.43%	0.14%	15.18%
Différence des consommations moyennes par logement entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en kWh/m²)	40.86	69.43	88.73	74.59	97.48
Réductions des consommations moyennes par logement entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en %)	18.04%	30.65%	39.17%	32.93%	43.03%

Dans les deux cas précédents, le taux d'accroissement des nouveaux bâtiments était donc représenté par des bâtiments correspondant au standard actuel de la PEB (Escpec < 130). Il est intéressant de se demander ce qu'il serait si ce standard pour les nouvelles constructions était le standard maison passive dont le besoin net de chauffage est inférieur ou égal à 15kWh/m².an. La figure ci-dessous correspond à la Figure 8. Cette représentation donne l'évolution moyenne par logement du stock qui est indépendant du nombre de logements mais il est révélateur de l'amélioration moyenne de la qualité énergétique des logements.

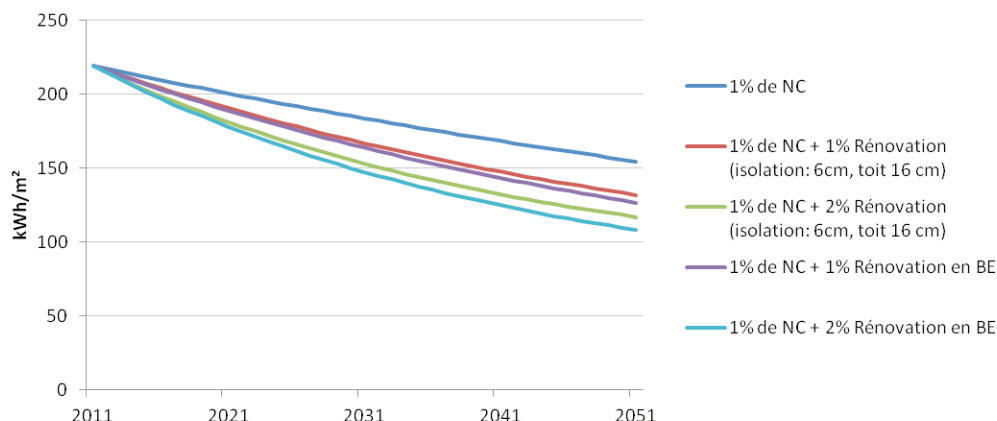


Figure 10 : Evolution des consommations moyennes par logement dues au chauffage et à la ventilation (en kWh/m².an) du stock de logements en Région wallonne de 2011 à 2051, suivant 5 scénarios : 1, 9, 10, 11 et 12. Les nouvelles constructions [NC] issues du taux d'accroissement sont considérées comme étant au standard maison passive (besoins nets de chauffage < 15kWh/m².an)

Au niveau de l'évolution énergétique du stock bâti, le fait d'avoir un standard très élevé pour les nouvelles constructions [NC] permet de limiter l'effet de l'augmentation des consommations totales malgré l'accroissement du stock de logements. Cela permet de diminuer plus vite les consommations totales dès les premiers efforts de rénovation.

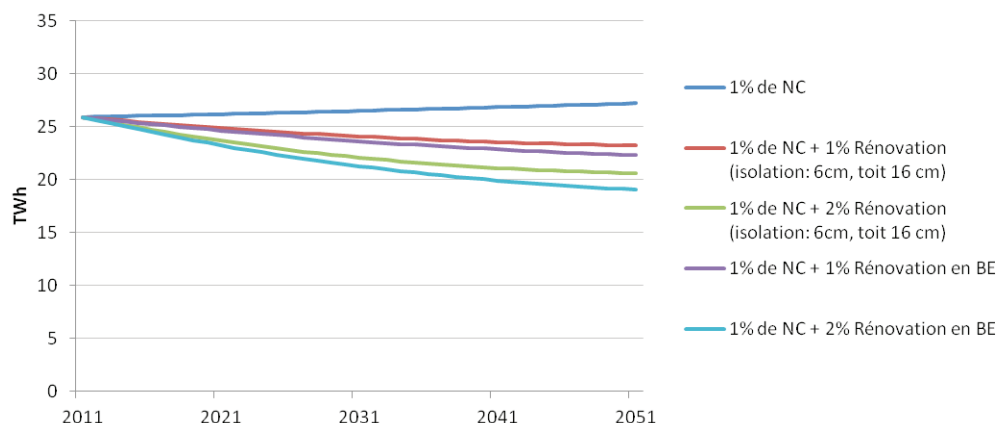


Figure 11 : Evolution de 2011 à 2051 des consommations dues au chauffage et à la ventilation (en TWh) du stock de logements en Région wallonne, suivant 5 scénarios : 1, 9, 10, 11 et 12. Les nouvelles constructions [NC] issues du taux d'accroissement sont considérées comme étant au standard maison passive (besoins nets de chauffage < 15kWh/m².an)

Le tableau ci-dessous représente les différences en TWh et les réductions en % des consommations par rapport au cas actuel lorsque les nouvelles constructions correspondent au standard maison passive (besoins nets de chauffage < 15kWh/m².an).



Tableau 4 : Différences et réductions des consommations dues au chauffage et à la ventilation entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 à travers différents scénarios d'évolution

Scénario d'évolution	1	7	8	9	10
Différence des consommations entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en TWh)	-1.31	2.69	5.31	3.60	6.85
Réductions des consommations moyennes du stock entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en %)	-5.07%	10.36%	20.46%	13.87%	26.41%
Différence des consommations moyennes par logement entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en kWh/m ²)	64.46	87.15	102.00	92.31	110.75
Réductions des consommations dues au chauffage et à la ventilation entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en %)	29.43%	39.80%	46.58%	42.15%	50.57%

Ces résultats ne prennent en compte que les consommations issues du chauffage et de la ventilation. Cependant ces consommations peuvent être en partie réduites par l'utilisation de panneaux solaires ou d'autres énergies renouvelables intégrables en rénovation.



Conclusion

La Belgique se trouve actuellement dans un tournant stratégique concernant l'utilisation rationnelle de l'énergie avec l'introduction de la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (PEB). En effet, le parc de logements est très vieux puisque 70% date d'avant la première crise pétrolière et 45% date d'avant la Seconde Guerre mondiale. De ce fait, le chauffage occupe 75% de la facture énergétique du logement.

Cette étude a permis de mettre en avant 10 scénarios d'évolution du stock bâti. Les stratégies de rénovations locales sont un premier geste et sont évidemment profitables pour autant qu'elles aient un grand rayon d'action. Elles ont l'avantage d'être facilement réalisables et sur l'ensemble du stock, elles ont un réel impact énergétique. Les stratégies d'évolution du stock bâti projetées permettent de réduire les consommations de chauffages et de ventilation à condition que celles-ci soient assez performantes énergétiquement afin de contrebalancer l'effet de l'accroissement du stock. Il faudrait également tenir compte de l'impact d'énergies renouvelables qui permettent de diminuer les consommations globales d'un ménage et dans certains cas, celles dues au chauffage et/ou à sa ventilation.

Cependant, si les taux de rénovation présentés sont plus ou moins réalistes, les niveaux de performances énergétiques proposées par ces rénovations restent relativement élevés par rapport à la réalité. Car beaucoup de travaux de rénovation consistent actuellement en des travaux de simple transformation n'ayant pas forcément ou directement un caractère énergétique. L'idéal serait évidemment de lier travaux de réhabilitation/transformation et rénovation énergétique globale.





Références

- Evrard A. et al. [2012]. Vade-mecum – Outils EPEEH, Evaluation du potentiel d'économie d'énergie par type d'habitat wallon, A. Evrard, C. Hermand, A. De Herde, UCL-Architecture et Climat, 2012.
- Kints C. [2008]. La rénovation énergétique et durable des logements wallons. Analyse du bâti existant et mise en évidence des typologies de logements prioritaires, Architecture & Climat, UCL, Ministère de la Région Wallonne (MRW-DGTRE), International Energy Agency, Solar heating & cooling of Task 37 and Federal Science Policy, project LEHR (www.lehr.be).
- Vannest D. Et al. [2007]. Enquête socio-économique 2001 - Monographie «Le logement en Belgique», Vannest D., Thomas I., Goosens L. - SPF Economie, Direction générale Statistique et Information, Economique (DGSIE), Politique scientifique fédérale, 2007.



Pour aller plus loin

Autres fiches

Découvrez nos autres fiches pratiques sur www.safe-energie.be/, en particulier :

- SAFE.GEN02 : L'étalement urbain - qu'est-ce que c'est ?
- SAFE.QUA01 : La typologie des quartiers périurbains wallons
- SAFE.QUA02 : L'impact de la forme urbaine et la densification des quartiers existants
- SAFE.MOB03 : Comment réduire vos consommations d'énergie relatives au transport ?
- SAFE.BAT03 : La rénovation : quelles démarches suivre?

Liens utiles

- Notre site : www.safe-energie.be
- Département de l'énergie et du bâtiment durable : mrw.wallonie.be/dgatlp
- LEMA : www.lemma.ulg.ac.be
- Architecture et Climat : www-climat.arch.ucl.ac.be





Suburban Areas Favoring Energy efficiency



grand public, promoteur, architecte, etc



Général, Quartier, Rénovation



Auteurs de la fiche

Architecture et Climat

Université catholique de Louvain

T. de Meester et Prof. A. De Herde

Place du Levant, 1

1348 Louvain-La-Neuve

Tatiana.demeester@uclouvain.be

+32 10 47 23 34

<http://www-climat.arch.ucl.ac.be>



Annexe II : Présentation des séminaires SAFE



Prof. Sigrid REITER(coordination)
Anne-Françoise MARIQUE

Université de Liège
Faculté des Sciences Appliquées
Département ArGEnCo
M : afmarique@ulg.ac.be



Prof. André DE HERDE
Tatiana DE MEESTER

Université catholique de Louvain
Faculté d'Architecture, d'Ingénierie
architecturale, d'Urbanisme
M : tatiana.demeester@uclouvain.be

[SAFE] - Suburban Areas Favoring Energy efficiency

Séminaire de diffusion des résultats et outils

26 avril 2012

SEMINAIRE de diffusion des résultats et outils SAFE

Programme de la matinée

- 9h00 : Accueil des participants
- 9h15 : Présentation des résultats de la recherche SAFE
- 10h30 : Pause-café
- 10h45 : Présentation de l'outil interactif développé dans le cadre
de la recherche SAFE et exemples d'applications
- 12h00 : Fin de séance





Prof. Sigrid REITER(coordination)
Anne-Françoise MARIQUE

Université de Liège
Faculté des Sciences Appliquées
Département ArGEnCo
M : afmarique@ulg.ac.be



Prof. André DE HERDE
Tatiana DE MEESTER

Université catholique de Louvain
Faculté d'Architecture, d'Ingénierie
architecturale, d'Urbanisme
M : tatiana.demeester@uclouvain.be

[SAFE] - Suburban Areas Favoring Energy efficiency

Présentation des résultats de la recherche

26 avril 2012

LE PROJET SAFE (2009-2012)

Suburban areas favoring energy efficiency

Financement : Région wallonne, DGO4, programme mobilisateur energywall

- **Evaluation énergétique des quartiers** résidentiels existants, en milieu périurbain (**bâtiments + transport**)
- **Création d'un outil interactif** sur le web permettant de comparer l'impact de différentes stratégies de réduction des consommations énergétiques à l'échelle du quartier : www.safe-energie.be

Coordinateur du projet SAFE : ULg - LEMA
Prof. Sigrid Reiter et Anne-Françoise Marique

Partenaire du projet SAFE : UCL - Architecture et climat :
Prof. André De Herde et Tatiana de Meester

Deux parrains industriels :
Rebabo / Green Construct : Jean-Pol Bollette
T-Palm : Pierre Pirard



SAFE – Contexte de la recherche

L'étalement urbain
monofonctionnel et peu
dense

- = phénomène le plus marquant de l'évolution des territoires depuis la révolution industrielle.
- = problème majeur en termes de développement soutenable
- = continue de se propager

>>> Que faire face
aux quartiers
existants?



© Copyright - <http://www.bing.com/maps/>.



5

SAFE – Méthodologie de la recherche

La recherche SAFE est centrée sur l'évaluation énergétique des tissus périurbains existants et le développement de stratégies d'amélioration de leur efficacité énergétique.

► Méthodologie de la recherche en 5 phases :

- 1. Etat de l'art et définition d'une typologie des quartiers périurbains, sélection des cas d'étude
- 2. Elaboration de méthodes d'évaluation (bâtiment / transport) et modélisation des quartiers « en l'état actuel »
- 3. Variations paramétrées des principales caractéristiques des quartiers sélectionnés
- 4. Formalisation et évaluation de différents scénarios de renouvellement des tissus périurbains
- 5. Création de l'outil interactif final, publications des résultats et organisation de deux workshops



6

SAFE – Typologie des quartiers périurbains

► Analyse de la littérature :

- Pas de définition unanime de l'étalement urbain
- Concept qui dépend de l'aspect par lequel il est abordé, du territoire considéré
- Inéquation des définitions existantes par rapport à l'objet de notre étude



Ville de Liège :
Saint Léonard vs Rocourt

► Définition orientée vers des analyses de type morphologique (consommation d'énergie du bâti, ensoleillement, etc.)

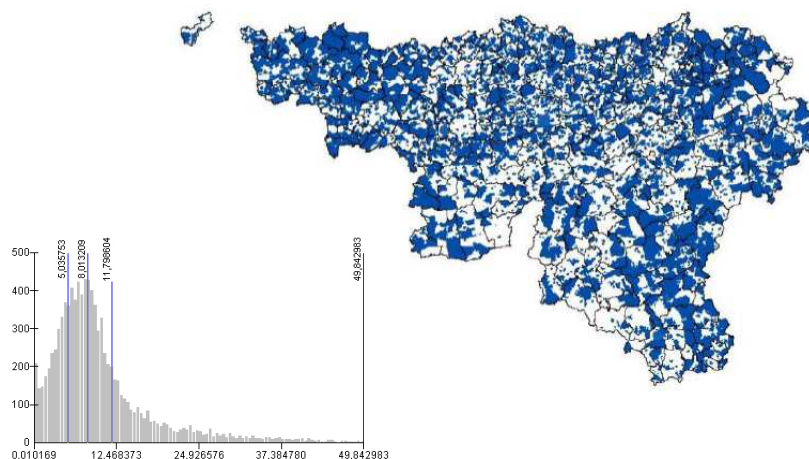
- La faible densité
- La mono-fonctionnalité (périurbanisation résidentielle)
- La discontinuité spatiale



7

SAFE – Typologie des quartiers périurbains

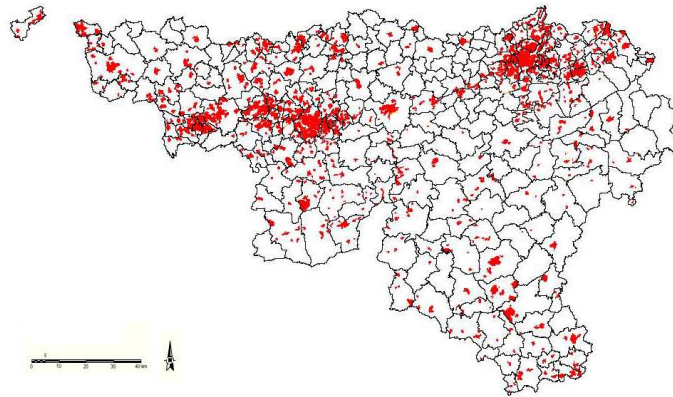
► densité de 5 à 12 logements par ha



8

SAFE – Typologie des quartiers périurbains

► densité supérieure à 12 logements par ha

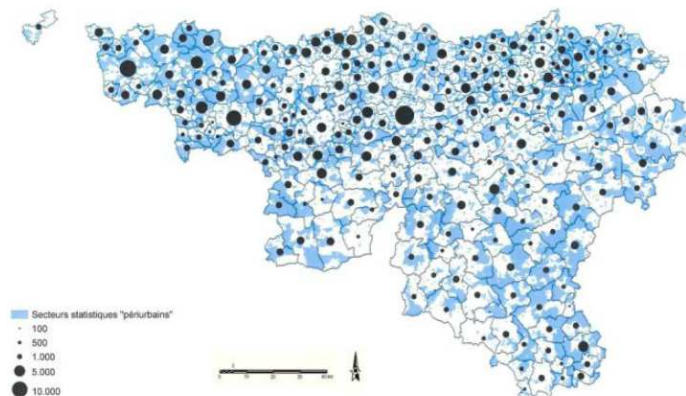


LEMA

9

SAFE – Typologie des quartiers périurbains

Nombre de bâtiments périurbains par commune (densité entre 5 et 12 logements par ha)



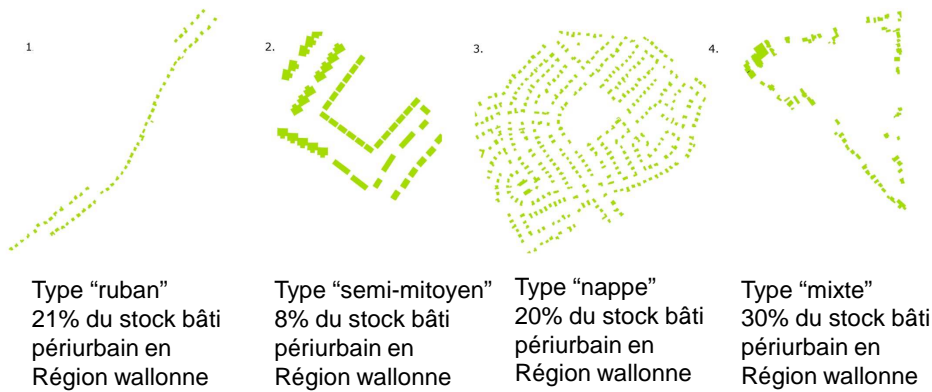
Elaboration d'une typologie par un tir aléatoire de 300 bâtiments
au sein de cet échantillon et analyse de leurs caractéristiques à l'aide de SIG

LEMA

10

SAFE – Typologies des quartiers périurbains

► Définition d'une typologie des quartiers périurbains :



+ Présence de deux de ces types (9%)
+ Autres (12%)



11

SAFE – Typologie des quartiers périurbains

Surfaces moyennes des logements en milieu périurbain :

Partition by surface area class			
<i>50-100 m²</i>	<i>101-150 m²</i>	<i>150-200 m²</i>	<i>> 200 m²</i>
31.5%	47.5%	15.0%	6.0%

Age du bâti en milieu périurbain :

Partition by age class				
<i>Before 1930</i>	<i>1931-1960</i>	<i>1961-1980</i>	<i>1981-1996</i>	<i>After 1996</i>
38.3%	14.3%	30.0%	10.4%	7.0%



12

SAFE – Typologie des quartiers périurbains

Analyse croisée des caractéristiques étudiées et mise en évidence des types de bâtiments périurbains les plus courants :

- Maison "4 façades", de 101-150 m², construite avant 1930 dans un quartier de type mixte (11.9% du stock périurbain)
- Maison "4 façades", de 101-150 m², construite entre 1961 et 1980 dans un quartier de type "rurban"(6.9%).
- Maison "mitoyenne", de 50-100 m², construite avant 1930 dans un quartier de type "mixte"(5.1%).
- Maison "4 façades", de 101-150 m², construite entre 1961 et 1980, dans un quartier de type "nappe" (5.0%).
- Maison "4 façades", de 101-150 m², construite entre 1981 et 1996, dans un quartier de type "nappe"(5.0%)

>>> Sélection de 4 quartiers correspondant à nos 4 types et représentatifs du bâti moyen.



13

SAFE – Evaluation énergétique : 4 approches

- ▶ **Approche « Bâtiment »**
 - ▶ Méthode
 - ▶ Variations paramétrées
 - ▶ Cycle de vie
- ▶ **Approche « Transport »**
 - ▶ Méthode
 - ▶ Impact de la structure du territoire
- ▶ **Approche « Quartier » (bâtiment + forme urbaine + transport)**
 - ▶ Méthode
 - ▶ Comparaison bâtiment + transport
 - ▶ Variations paramétrées
- ▶ **Approche « Parc »**
 - ▶ Méthode
 - ▶ Scénarios prospectifs



14

SAFE – Evaluation énergétique « bâtiment »

► Approche « Bâtiment » : Simulations thermiques dynamiques de bâtiments (TAS/Comfie) en phase d'utilisation

Application de caractéristiques constructives selon la période de construction et l'évolution des réglementations thermiques

► Variations paramétrées :

- Le climat
- Les gains solaires + masques solaires + orientation
- Conditions internes: gains internes + consignes de température
- Les niveaux d'isolation
- Les types de ventilation
- L'ouverture des fenêtres, les vitrages et l'impact du vent
- Les modes de vie et d'occupation
- Les types de logement



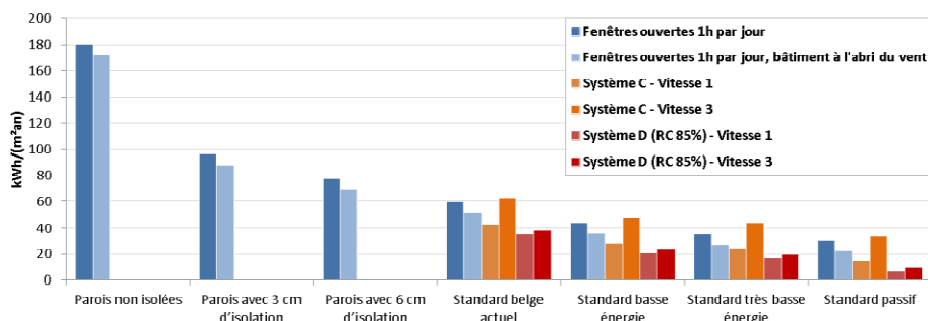
15

SAFE – Evaluation énergétique « bâtiment »

Niveaux d'isolation & Impact de la ventilation

Besoins nets de chauffage, en kWh/m².an, d'une maison « 4 façades »:

- 7 différents niveaux de performances de l'enveloppe et
- différents systèmes de ventilation.

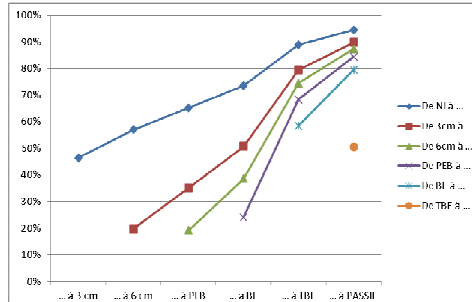


16

SAFE – Evaluation énergétique « bâtiment »

Mesures **globale** de rénovation
⇒ Réduction des besoins nets de chauffage (en %)

NI : Non isolé
3cm : 3 cm d'isolation en moyenne
6cm : 6 cm d'isolation en moyenne
PEB : Standard belge actuel (Système C (Vitesse 3))
BE : Standard basse énergie (Système C (Vitesse 3))
TBE : Standard très basse énergie (Système D (Vitesse 3))
PASSIF : Standard maison passive (Système D (Vitesse 3))



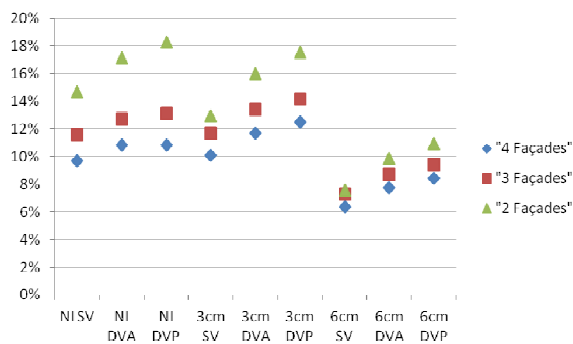
Réduction de la demande de chaleur lors du passage de ... à ...	... à 3 cm	... à 6 cm	... à PEB	... à BE	... à TBE	... à PASSIF
De NI à ...	46.45%	56.98%	65.23%	73.57%	89.02%	94.56%
De 3cm à ...		19.65%	35.06%	50.64%	79.50%	89.85%
De 6cm à ...			19.17%	38.57%	74.48%	87.36%
De PEB à ...				23.99%	68.43%	84.36%
De BE à ...					58.46%	79.43%
De TBE à ...						50.48%



17

SAFE – Evaluation énergétique « bâtiment »

Mesures **locale** de rénovation
⇒ Réductions des besoins nets de chauffage (en %) obtenues lors de l'ajout de 16 cm d'isolation dans le toit



NI : Non isolé
3cm : 3 cm d'isolation en moyenne
6cm : 6 cm d'isolation en moyenne

SV : Simple Vitrage
DVA : Double Vitrage Ancien
DVP : Double Vitrage Performant

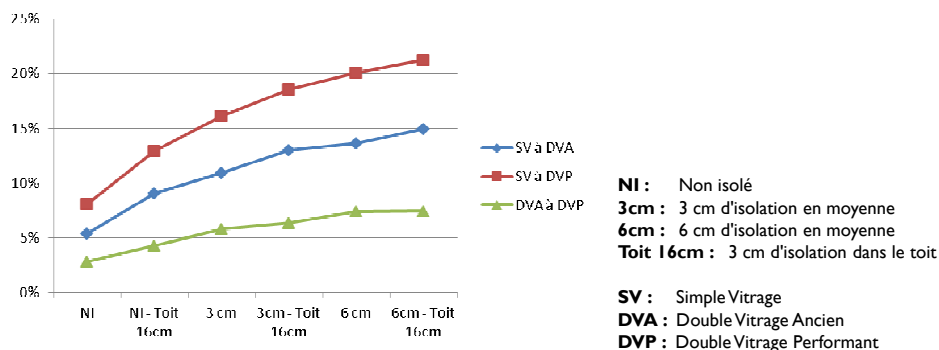


18

SAFE – Evaluation énergétique « bâtiment »

Mesures *locale* de rénovation

⇒ Réductions des besoins nets de chauffage (en %) obtenues lors du *passage d'un type de vitrage à un autre plus performant* en fonction du niveau d'isolation de l'enveloppe



19

SAFE – Evaluation énergétique « bâtiment »

► Modes d'occupation



1 Famille (2 adultes + 3 enfants) où les adultes travaillent à l'extérieur



2 Famille (2 adultes + 3 enfants) où les adultes travaillent à la maison



3 Couple « actif » correspondant à des retraités ou un couple sans enfants



4 Couple âgé plus « passif »

Utilisation de la maison :

- RDC + Etage
 - RDC
- ⇒ conséquence sur le chauffage, la ventilation



Variation des consignes de température : (induit par la variation des occupants)

- 20-16°C avec baisse la nuit et en journée (**Th1**)
- 20-16°C avec baisse la nuit (**Th2**)
- 21°C (**Th3**)
- 24-20°C avec baisse la nuit (**Th4**)



20

SAFE – Evaluation énergétique « bâtiment »

- ▶ 11 cas étudiés et analysés à 7 niveaux de performances de l'enveloppe
- ▶ Calcul de l'impact de différents modes d'occupation sur la demande de chauffage *durant la durée de vie d'une maison* (100 ans)
- ▶ **Enorme impact du mode d'occupation : certains standards ne sont plus atteints dans certains cas et ce, même en faisant des moyennes sur la vie du bâtiment**
- ▶ Proposer des *stratégies de rénovation* qui tiennent compte des différents types d'occupation pour assurer le confort thermique
 - ▶ Assurer une bonne gestion de la température intérieure (vannes thermostatiques, horaires, etc.),
 - ▶ Encourager les rénovations énergétiques par l'isolation (globale et/ou locale) afin d'anticiper l'augmentation des demandes de chauffage liée avec l'âge,
 - ▶ Etc.

21



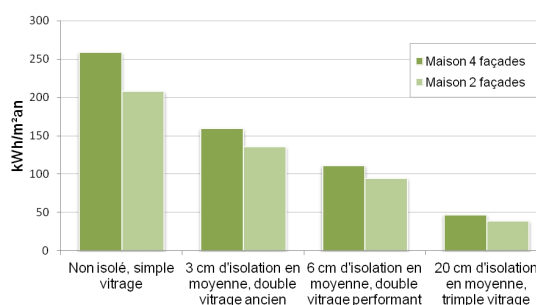
21

SAFE – Evaluation énergétique « bâtiment »

Choix du type de logement

Choix de l'implantation

⇒ Besoins nets de chauffage, en kWh/m².an, d'une maison « 4 façades » et « 2 façades »



	Non isolé, simple vitrage	3 cm d'isolation, double vitrage ancien	6 cm d'isolation, double vitrage performant	20 cm, triple vitrage
Réduction des besoins nets entre "4 façades" et "2 façades"	19.64%	14.97%	15.08%	17.10%
kWh économisé sur les besoins nets	9140.19	4286.43	3008.72	1444.05
Rendement du système de chauffage	70%	70%	80%	80%
kWh économisé sur la consommation annuelle	13057.42	6123.48	3760.91	1805.06



22

SAFE – Evaluation énergétique « bâtiment »

► Conclusions de cette partie :

- L'amélioration de l'enveloppe du bâtiment permet d'importantes réductions des consommations et la possibilité d'introduire un système de ventilation performant et de retravailler les composantes bioclimatiques du bâtiment pour maximiser les gains solaires

Les bâtiments des quartiers résidentiels périurbains offrent un grand potentiel d'isolation par l'extérieur, mode le plus recommandé en rénovation.

- Travailler sur les mesures locales : gestion des consignes de température, isolation du toit, placement de vitrage performant, etc.
- Conscientiser l'utilisateur de l'influence énergétique de ses modes de vie est important.



23

SAFE – Analyse en cycle de vie

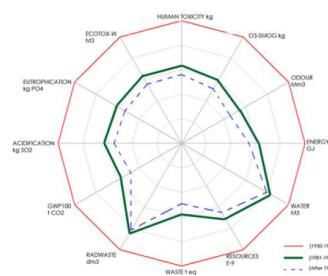
Approche « Analyse en cycle de vie des bâtiments » : consommations énergétiques des bâtiments sur la totalité de leur cycle de vie (Logiciel Equer)

Phase d'utilisation du bâtiment = 80 – 98%
de l'ensemble des consommations énergétiques

Phase de construction = 1–19%

Démolition et recyclage = 0.2 – 5%.

>>> Le principal reste donc de diminuer les consommations énergétiques durant la phase d'utilisation des bâtiments.



Eco-profil (logiciel EQUER) d'un bâtiment ancien non-insulé, faiblement isolé et isolé selon la norme PEB



24

SAFE – Evaluation énergétique « transport »

Approche « Transport » : développement d'une méthode d'évaluation des consommations d'énergie :

- Déplacements **domicile-travail** et déplacements **domicile-école**
>>> sur base des recensements INS
- Module complémentaire pour les **commerces** et **loisirs** (à l'exclusion des vacances) >>> sur base de profils types

► **Prend en compte:**

- Le **mode** de transport et la **distance** parcourue
- La **fréquence** : temps de travail / nombre de jours d'école
- Des **facteurs de consommation** pour chaque mode

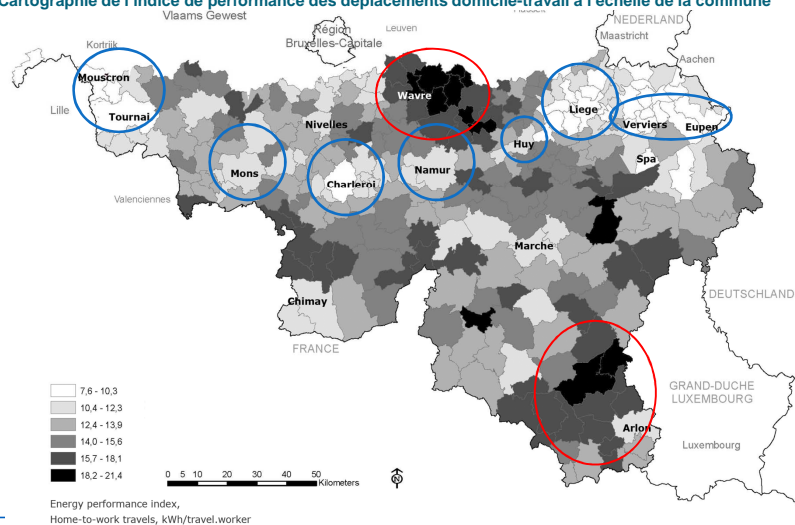
- **Calcule un index de localisation IPE [kWh/personne.an] qui permet de comparer l'impact de différentes localisations résidentielles sur les consommations énergétiques de transport, à l'échelle de la commune, de l'ancienne commune et du secteur statistique (quartier) >> mise en évidence de l'impact de la structure du territoire sur les déplacements**



25

SAFE - Evaluation énergétique « transport »

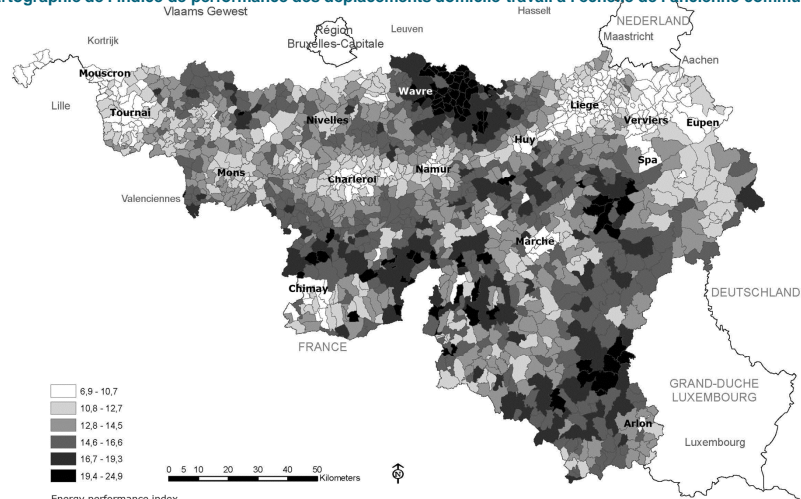
Cartographie de l'indice de performance des déplacements domicile-travail à l'échelle de la commune



26

SAFE - Evaluation énergétique « transport »

Cartographie de l'indice de performance des déplacements domicile-travail à l'échelle de l'ancienne commune



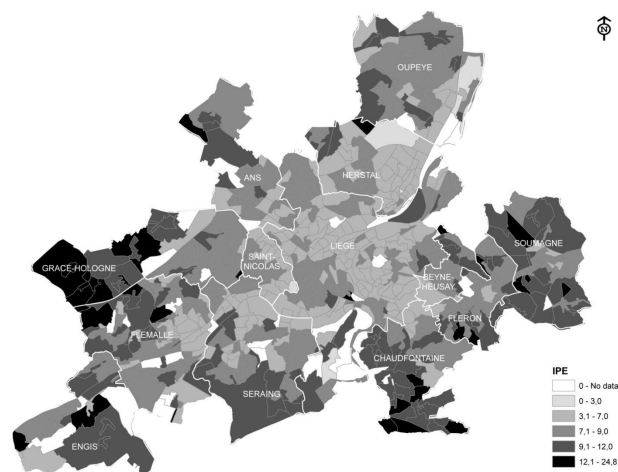
27



27

SAFE - Evaluation énergétique « transport »

Cartographie de l'IPE du transport domicile-travail à l'échelle du secteur statistique, zoom sur Liège



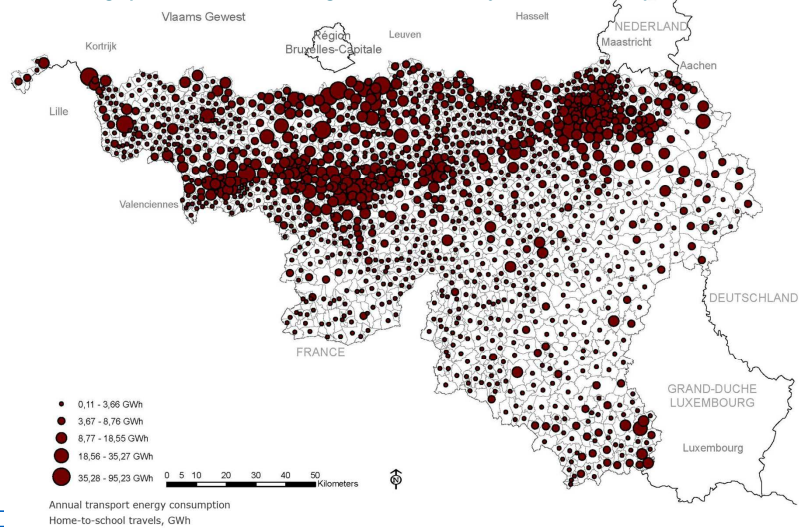
28



28

SAFE - Evaluation énergétique « transport »

Cartographie des consommations globales dues aux trajets domicile-travail par commune

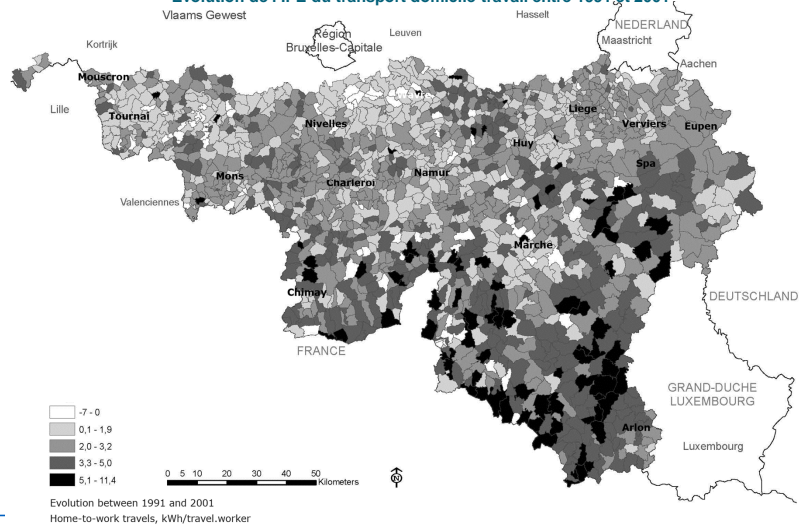


LEMA

29

SAFE - Evaluation énergétique « transport »

Evolution de l'IPE du transport domicile-travail entre 1991 et 2001

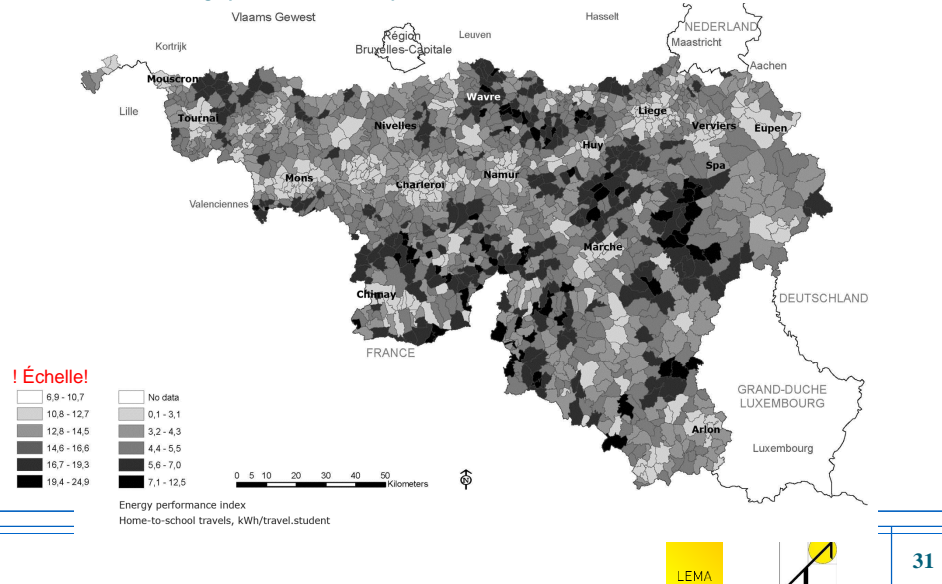


LEMA

30

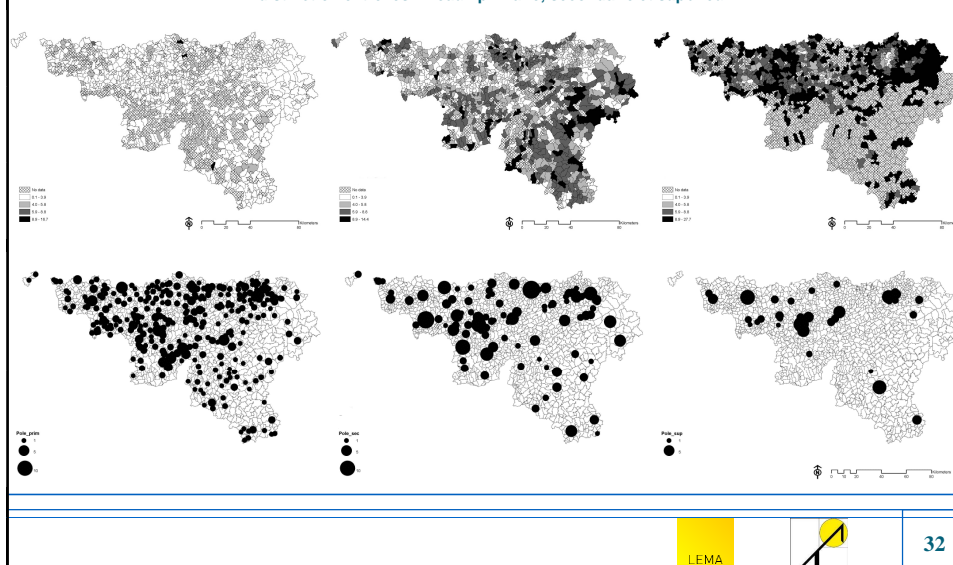
SAFE - Evaluation énergétique « transport »

Cartographie de l'IPE du transport domicile-école à l'échelle de l'ancienne commune



SAFE - Evaluation énergétique « transport »

Cartographie de l'IPE du transport domicile-école à l'échelle de l'ancienne commune, distinction entre les niveaux primaire, secondaire et supérieur



SAFE - Evaluation énergétique « transport »

► Conclusions de cette partie (structure du territoire) :

- Augmentation sensible des consommations liées aux déplacements domicile-travail avec la distance au centre-ville > [concentration d'emplois](#).
- L'approche locale met en évidence des centres secondaires qui présentent aussi un IPE faible > [recomposition territoriale](#).
- Les [déplacements domicile-travail](#) sont nettement plus consommateurs que des déplacements scolaires, de loisirs et commerciaux.
- L'usage de la [voiture](#) est prépondérant dans les quartiers périurbains.
- La [distance parcourue](#) a un impact important sur l'IPE. Le mode de transport utilisé a un impact nettement plus réduit (lien mode/distance).
- L'analyse des déplacements scolaires doit distinguer le [niveau de scolarité](#) > mise en évidence de comportements très différents



33

SAFE - Evaluation énergétique « quartier »

Approche « Quartier »

- L'ensemble des résultats « bâtiments » sont agrégés dans le module « quartier » grâce à la classification typologique du bâti périurbain wallon selon :
 - La mitoyenneté
 - La surface chauffée
 - La période de construction (> caractéristiques constructives)
 - Les masques entre bâtiments
- Les consommations de transport sont calculées en fonction de la localisation du quartier et de la fréquence des trajets (nombre de travailleurs, nombre d'écoliers, etc.) pour les 4 motifs de déplacements étudiés.



34

SAFE - Evaluation énergétique « quartier »

Etude de sensibilité de l'impact de différentes stratégies de réduction des consommations énergétiques sur nos quartiers types

Overall Energy Consumption Reductions Obtained for Each Strategy

	Case 1	Case 2	Case 3
1. Improving the insulation of houses (all houses are retrofitted to reach the actual standard)	-29.7%	-39.5%	-21.8%
2. 50% of the pre-1981 stock is upgraded (insulation in the roof)	-2.2%	-8.9%	-1.0%
3. 50% of the pre-1981 stock is upgraded (insulation in the roof and new high-performance glazing)	-3.3%	-10.8%	-1.8%

Marique et Reiter, 2012b

LEMA

37

SAFE - Evaluation énergétique « quartier »

	Case 1	Case 2	Case 3
Energy performance of buildings			
4. Orientation of the houses and neighborhoods	-1.3%	-1.2%	-1.3%
5. More compact distribution of buildings (terraced and semi-detached houses)	-14.9%	-	-10.0%
Transportation			
6. Favorable location (as in Case 2)	-18.0%	-	-6.1%
7. Improving vehicle performance (private cars and public buses) by 10%	-6.1%	-2.5%	-4.8%
8. 20% of the inhabitants opting public transportation instead of private car	-2.4%	-1.0%	-1.8%
Inhabitant behavior			
9. More efficient management of the heating system (19°C/15°C versus 19°C constant)	-11.5%	-13.8%	-16.5%

Marique et Reiter, 2012b

LEMA

38

SAFE - Evaluation énergétique « quartier »

Réduire les consommations du transport

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
A. Tous les quartiers ont une "bonne" localisation	-55.4 %	-	-22.5%	-32.4%
B. Réductions des distances parcourues : -10%	-9.7 %	-9.8 %	-9.7 %	-9.6 %
B. Réductions des distances parcourues : -20%	-19.4 %	-19.5 %	-19.5 %	-19.2 %
C. Augmentation des performances des véhicules : +10%	-9.6 %	-6.6%	-9.0%	-9.6%
C. Augmentation des performances des véhicules : +20%	-19.1 %	-13.2%	-17.9%	-19.2%
C. Augmentation des performances des bus: +20%	-2.1 %	-2.7%	-1.7%	-2.1%
D. Télé-travail : 5%	-2.3 %	-2.6%	-3.4%	-3.6%
D. Télé-travail : 10%	-5.3 %	-5.6%	-6.9%	-6.8%
E. Transfert modal DT : 20%	-3.3 %	-3.9%	-4.2%	-4.6%
E. Transfert modal DT & DE : 10%	-4.6 %	-2.5%	-4.0%	-5.0%
E. Transfert modal DT & DE : 20%	-7.4 %	-4.9%	-6.7%	-7.8%

Marique et Reiter, 2012a

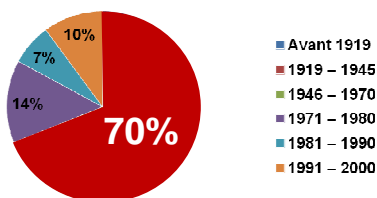


39

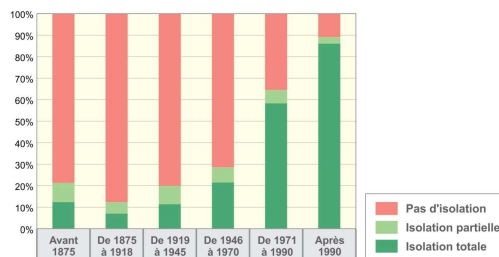
SAFE - Evaluation énergétique du parc

Etat du parc de logement en Région wallonne

- Le niveau de performances des logements en Région wallonne est lié à la période de construction
- 70% du stock bâti date d'avant 1970
- environ 75 % de l'énergie résidentielle utilisée par les ménages sert à chauffer leur logement



Pourcentage du nombre de logements en RW en fonction de leur époque de construction (Vannest D. et al., 2007)



Pourcentage des logements ayant des murs isolés en fonction de leur époque de construction (Kints C., 2008)



40

SAFE - Evaluation énergétique du parc

Scénario de rénovation du parc de logement en Région wallonne

	Consommations moyenne dues chauffage par logement (kWh/m²an)	Consommations moyenne dues chauffage par logement (kWh)	Consommations dues chauffage du parc de logement (TWh)	Réduction des consommations à l'état actuel (en %)
Etat actuel (1 261 310 Logements)	239.53	20360.32	25.68	
Tous les vitrages deviennent double vitrage performant	218.30	18555.20	23.40	8.87%
Tous les toits (non isolé ou peu isolé) sont isolés avec 16 cm	217.12	18454.82	23.28	9.36%
Tous les vitrages deviennent double vitrage performant et tous les toits (non isolé ou peu isolé) sont isolés avec 16 cm	188.97	16062.53	20.26	21.11%
Tous les bâtiments construits après 1971 deviennent Basse énergie	203.96	17337.00	21.87	14.85%
Tous les bâtiments construits entre 1961 et 1980 deviennent Basse énergie	176.19	14975.82	18.89	26.45%

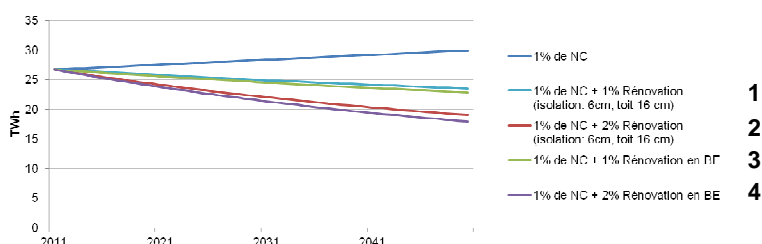


41

SAFE - Evaluation énergétique du parc

Scénario d'évolution des consommations dues au chauffage et à la ventilation du parc de logement en Région wallonne

- Les nouvelles constructions [NC] issues du taux d'accroissement correspondent au **standard actuel** (Escpec < 130)



Scénario d'évolution	1	2	3	4
Différence des consommations entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en TWh)	3.29	7.81	3.96	8.94
Réductions des consommations dues au chauffage et à la ventilation entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en %)	12.30%	29.22%	14.82%	33.45%

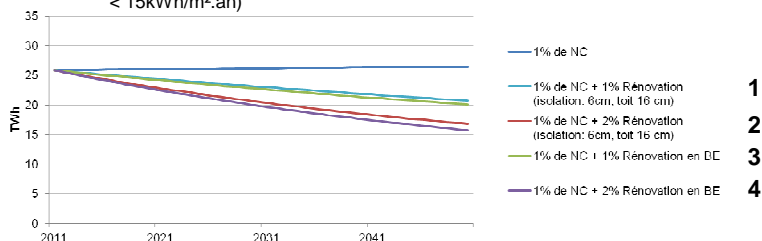


42

SAFE - Evaluation énergétique du parc

Scénario d'évolution des consommations dues au chauffage et à la ventilation du parc de logement en Région wallonne

- Les nouvelles constructions [NC] issues du taux d'accroissement sont ici considérées comme étant au **standard maison passive** (besoins nets de chauffage < 15kWh/m².an)



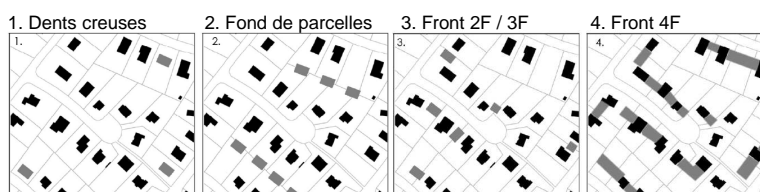
Scénario d'évolution	1	2	3	4
Différence des consommations entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en TWh)	5.23	9.20	5.91	10.33
Réductions des consommations dues au chauffage et à la ventilation entre l'état en 2011 et l'état projeté en 2051 (en %)	20.21%	35.56%	22.82%	39.93%



43

SAFE – Scénarios

► Etude de la densité d'un quartier périurbain



	Situation actuelle	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Consommation moyenne d'énergie pour le chauffage[kWh/m².an]	146,9	139,4	121,3	128,0	102,2
Economie par rapport à la situation de base	/	5,2%	17,4%	12,9%	30,4%
Energie solaire reçue par façades [kWh/m².an]	398,6	398,6	398,2	394,6	382,6
Différence avec la situation actuelle	/	0%	-0,1%	-1,0%	-4,0%
Energie solaire reçue sur les toits [kWh/m².an]	1005	1005	1005	1005	1005
Densité bâtie [habitation/ha]	7,6	8,0	9,6	9,3	12,6
Surface de terrain économisée [ha]	/	2,07	9,27	8,10	23,4
Economie sur la longueur des réseaux collectifs [m]	/	184	824	720	2080



44

SAFE – Outil interactif

L'outil interactif

- ▶ **Valoriser** les résultats de la recherche
- ▶ Les rendre **accessibles à un large public**
- ▶ **Sensibiliser** le grand public
- ▶ Fournir des **pistes concrètes d'action** et des **résultats chiffrés**

- ▶ **Sous forme d'un site Web** : www.safe-energie.be
comprenant :
3 outils de calcul (échelle individuelle simplifiée, échelle individuelle détaillée et échelle du quartier)
et **18 fiches pratiques**.

> **Présentation de l'outil et des cas pratiques après la pause!!**



45

SAFE (2009-2012)

Publications dans des revues scientifiques avec peer-reviewing et impact factor:

Anne-Françoise Marique, Sigrid Reiter, 2012b. A Method to Evaluate the Energy Consumption of Suburban Neighbourhoods, *ASHRAE HVAC&R Research* **18**(1-2), 88-99.

Anne-Françoise Marique, Sigrid Reiter, 2012a. A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas. *Environmental Impact Assessment Review* **33**, 1-6.

Rossi B., Marique A.-F., Reiter S., 2012. Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study, *Building & Environment* **51**, 402-407

Rossi B., Marique A.-F., Glaumann M., Reiter S., 2012. Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool, *Building & Environment* **51**, 395-401

Trois autres articles sont en cours de procédure.



46

SAFE (2009-2012)

Publications dans les Proceedings de Conférences internationales avec peer-reviewing:

- Marique, A.-F., M. Pétel, A. Hamdi & Reiter, S. 2012. Combining territorial data with thermal simulations to improve energy management of suburban areas. Proceedings of GEOProcessing 2012, Valence, Spain.
- **Marique, A.-F. and S. Reiter. 2011. Urban sprawl and travel energy consumption: the case of the Walloon Region of Belgium. Irish Transport Research Network Conference ITRN2011, Cork, Ireland.**
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2011. Improving energy efficiency of existing suburban blocks through district energy planning. 7th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, Shanghai, China.
- Marique, A.-F., T. de Meester and S. Reiter. 2011. Energy requirements and solar availability in suburban areas: the influence of density in an existing district. CISBAT 2011 International Conference on Clean Techs for Sustainable Buildings, Lausanne, Suisse.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2011. Towards more sustainable neighbourhoods: are good practices reproducible and extensible. A review of existing sustainable neighbourhoods. 27th PLEA International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-La-Neuve, Belgique.
- de Meester, T., A.-F. Marique and S. Reiter. 2011. The Influence of occupation modes on building heating loads: the case of a detached house located in a suburban district. 27th PLEA International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-La-Neuve, Belgique.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2010. A method to assess transport consumptions in suburban areas. PLUREL International Conference: Managing the Urban Rural Interface, Copenhagen, Denmark.
- Marique, A.-F. and S. Reiter. 2010. A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighborhood scale. Proceedings of the 7th IAQVEC International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in buildings, Syracuse, New-York, USA.



47

SAFE (2009-2012)

SOLEN (2012-2014) – Solutions for Low Energy Neighborhoods

- Développer des solutions visant à améliorer l'efficacité énergétique globale des quartiers résidentiels wallons existants, tant en ce qui concerne le bâti que la mobilité (Urbain+périurbain+rural)
- Favoriser l'utilisation des énergies renouvelables pour tendre vers les objectifs « quartiers à (très) basse énergie » et « zéro énergie ».
- Outil interactif accessible sur le web.

Financement : Région wallonne, DGO4, programme mobilisateur ERable

Coordinateur du projet SAFE : ULg - LEMA : Prof. Sigrid Reiter

Partenaire du projet SAFE : UCL - Architecture et climat : Prof. André De Herde

Deux parrains industriels :

Matriciel
Ecorce



48

Merci pour votre attention.

Contacts: sigrid.reiter@ulg.ac.be
afmarique@ulg.ac.be
tatianademeester@uclouvain.be

Publications : <http://orbi.ulg.ac.be>





Prof. Sigrid REITER(coordination)
Anne-Françoise MARIQUE

Université de Liège
Faculté des Sciences Appliquées
Département ArGEnCo
M : afmarique@ulg.ac.be



Prof. André DE HERDE
Tatiana DE MEESTER

Université catholique de Louvain
Faculté d'Architecture, d'Ingénierie
architecturale, d'Urbanisme
M : tatiana.demeester@uclouvain.be

[SAFE] - Suburban Areas Favoring Energy efficiency

Présentation de l'outil interactif

26 avril 2012

SAFE – Outil interactif

L'outil interactif

- ▶ **Valoriser** les résultats de la recherche
- ▶ Les rendre **accessibles à un large public**
- ▶ **Sensibiliser** le grand public
- ▶ Fournir des **pistes concrètes d'action** et des **résultats chiffrés**
- ▶ **Sous forme d'un site Web : www.safe-energie.be**
comprenant :
3 outils de calcul (échelle individuelle simplifiée, échelle individuelle
détaillée et échelle du quartier)
et **18 fiches pratiques.**



SAFE (2009-2012)

Types potentiels d'utilisateurs :

Particulier / ménage : **évaluation** des consommations « bâtiment » et « transport » et recommandations pour les réduire

Particulier / ménage : **comparaison** de différentes typologies de Logements et de différentes localisations résidentielles.

Promoteur : **choix** d'un terrain pour un nouveau quartier

Administration : **orientation** de la localisation de nouveaux développements / des zones à densifier prioritairement

LEMA

3

SAFE – Outil interactif

<http://www.safe-energie.be/>



Accueil

Le projet

L'étalement urbain

Nos tests

Fiches pratiques

Commencez l'évaluation



Evaluation individuelle rapide



Evaluation individuelle détaillée



Evaluation quartier

LEMA

4

SAFE – Evaluation rapide



<http://www.safe-energie.be/>

Pour qui : utilisateur individuel ou ménage

- Peu de données à connaître et à entrer
- Des résultats indicatifs basés sur des moyennes à l'échelle de l'ancienne commune et des cas-types
- Une comparaison transport + bâtiment pour un ménage « type »
- Des propositions d'amélioration



5

SAFE – Evaluation détaillée



<http://www.safe-energie.be/>

Pour qui : utilisateur individuel ou ménage

- Formulaires plus longs, données plus détaillées
- Des résultats plus précis basés sur les données de l'utilisateur
- Une comparaison transport + bâtiment pour le ménage / l'utilisateur
- Des propositions d'amélioration



6

SAFE – Evaluation détaillée



<http://www.safe-energie.be/>

Pour qui : administration, promoteur, architecte

- Peu de données transport à entrer
- Jusqu'à 4 types de bâtiments
- Des résultats basés sur des moyennes à l'échelle de l'ancienne commune et des cas types
- Une comparaison transport + bâtiment pour le quartier
- Des propositions d'amélioration

LEMA

7

SAFE – Fiches pratiques



<http://www.safe-energie.be/>

Pour qui : citoyens, administration, architecte, etc.

- 18 fiches / 4 thèmes
 - Général
 - Le bâtiment
 - La mobilité
 - Le quartier, la forme urbaine

LEMA

8

Merci pour votre attention.

Contacts: sigrid.reiter@ulg.ac.be
afmarique@ulg.ac.be
tatianademeester@uclouvain.be

Publications : <http://orbi.ulg.ac.be>



ANNEXE III

A.1 Résultats des trois immeubles à appartement issus de l'approche de valorisation du centre d'un quartier Nappe

Résultats des demandes de chauffage de l'analyse des 3 immeubles à appartement issus de l'approche de valorisation du centre d'un quartier Nappe. Voir les 3 tableaux ci-dessous qui détaillent les résultats pour chacun des 3 niveaux des 3 immeubles.

Tableau 29 : Demandes de chauffage en kWh/m²an pour les trois immeubles à appartement en fonction du thermostat, de la ventilation et de 4 niveaux de performances de l'enveloppe

Appartement 8/8		PEB	BE	TBE	PASSIF
RDC					
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	45.76			
	Système C - Vitesse 1	51.92	24.45	20.85	15.16
	Système C - Vitesse 3	72.91	44.98	41.33	35.88
	Système D 15% - Vitesse 1			12.29	6.60
	Système D 15% - Vitesse 3			15.27	9.49
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	57.40			
	Système C - Vitesse 1	67.05	28.19		
	Système C - Vitesse 3	96.31	55.02		
	Système D 15% - Vitesse 1			13.86	7.27
	Système D 15% - Vitesse 3			17.21	10.42
Étage 1					
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	32.25			
	Système C - Vitesse 1	38.71	16.47	13.16	9.06
	Système C - Vitesse 3	59.59	36.83	33.37	29.62
	Système D 15% - Vitesse 1			5.75	1.94
	Système D 15% - Vitesse 3			8.27	4.21
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	37.21			
	Système C - Vitesse 1	45.68	18.25		
	Système C - Vitesse 3	72.73	42.28		
	Système D 15% - Vitesse 1			6.28	2.12
	Système D 15% - Vitesse 3			9.03	4.49
Étage 2					
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	48.22			
	Système C - Vitesse 1	54.44	25.78	21.33	15.72
	Système C - Vitesse 3	75.50	46.33	41.75	36.31
	Système D 15% - Vitesse 1			13.04	7.45
	Système D 15% - Vitesse 3			15.88	10.19
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	57.49			
	Système C - Vitesse 1	66.41	29.37		
	Système C - Vitesse 3	94.40	54.61		

Système D 15% - Vitesse 1		14.63		8.18	
Système D 15% - Vitesse 3		17.81		11.14	
Moyenne pour l'immeuble		PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	42.08			
	Système C - Vitesse 1	48.36	22.23	18.45	13.31
	Système C - Vitesse 3	69.33	42.72	38.82	33.94
	Système D 15% - Vitesse 1			10.36	5.33
	Système D 15% - Vitesse 3			13.14	7.96
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	50.70			
	Système C - Vitesse 1	59.71	25.27		
	Système C - Vitesse 3	87.81	50.64		
	Système D 15% - Vitesse 1			11.59	5.86
	Système D 15% - Vitesse 3			14.68	8.68

Appartement 10.3/6.3					
RDC		PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	49.53			
	Système C - Vitesse 1	55.67	26.62	21.84	16.92
	Système C - Vitesse 3	76.68	47.10	42.20	37.55
	Système D 15% - Vitesse 1			13.47	8.38
	Système D 15% - Vitesse 3			16.35	11.28
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	61.63			
	Système C - Vitesse 1	71.09	30.74		
	Système C - Vitesse 3	100.01	57.00		
	Système D 15% - Vitesse 1			15.21	9.25
	Système D 15% - Vitesse 3			18.45	12.44
Étage 1		PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	35.94			
	Système C - Vitesse 1	42.34	18.58	14.62	10.68
	Système C - Vitesse 3	63.21	38.80	34.57	31.12
	Système D 15% - Vitesse 1			7.25	3.36
	Système D 15% - Vitesse 3			9.76	5.80
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	41.63			
	Système C - Vitesse 1	50.03	20.72		
	Système C - Vitesse 3	76.74	44.50		
	Système D 15% - Vitesse 1			7.96	3.64
	Système D 15% - Vitesse 3			10.71	6.23
Étage 2		PEB	BE	TBE	PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	51.65			
	Système C - Vitesse 1	57.83	27.35	22.61	16.95
	Système C - Vitesse 3	78.88	47.83	42.93	37.45
	Système D 15% - Vitesse 1			14.49	8.73
	Système D 15% - Vitesse 3			17.26	11.47
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	61.63			
	Système C - Vitesse 1	70.34	31.28		
	Système C - Vitesse 3	98.09	56.07		
	Système D 15% - Vitesse 1			16.34	9.61

Système D 15% - Vitesse 3		19.45		12.60
Moyenne pour l'immeuble		PEB	BE	TBE PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	45.71		
	Système C - Vitesse 1	51.95	24.18	19.69 14.85
	Système C - Vitesse 3	72.92	44.58	39.90 35.37
	Système D 15% - Vitesse 1			11.74 6.82
	Système D 15% - Vitesse 3			14.46 9.52
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	54.96	0.00	
	Système C - Vitesse 1	63.82	27.58	
	Système C - Vitesse 3	91.61	52.52	
	Système D 15% - Vitesse 1			13.17 7.50
	Système D 15% - Vitesse 3			16.20 10.42

Appartement 6.3/10.3 (Etroit)				
RDC		PEB	BE	TBE PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	42.70		
	Système C - Vitesse 1	48.89	23.87	18.38 14.63
	Système C - Vitesse 3	69.84	44.47	35.46 35.46
	Système D 15% - Vitesse 1			9.75 5.93
	Système D 15% - Vitesse 3			12.73 8.89
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	53.90		
	Système C - Vitesse 1	63.76	27.60	
	Système C - Vitesse 3	93.30	55.21	
	Système D 15% - Vitesse 1			10.91 6.53
	Système D 15% - Vitesse 3			14.23 9.76
Etage 1		PEB	BE	TBE PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	29.55		
	Système C - Vitesse 1	36.10	15.43	11.14 8.04
	Système C - Vitesse 3	56.99	35.97	31.55 28.76
	Système D 15% - Vitesse 1			3.79 1.16
	Système D 15% - Vitesse 3			6.26 3.20
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	33.91		
	Système C - Vitesse 1	42.49	17.02	
	Système C - Vitesse 3	69.93	41.44	
	Système D 15% - Vitesse 1			4.13 1.22
	Système D 15% - Vitesse 3			6.78 3.40
Etage 2		PEB	BE	TBE PASSIF
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	45.39		
	Système C - Vitesse 1	51.66	25.79	19.44 15.17
	Système C - Vitesse 3	72.72	46.43	35.87 35.87
	Système D 15% - Vitesse 1			11.05 6.78
	Système D 15% - Vitesse 3			13.91 9.55
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	54.00		
	Système C - Vitesse 1	63.12	29.31	
	Système C - Vitesse 3	91.31	55.14	
	Système D 15% - Vitesse 1			12.30 7.42
	Système D 15% - Vitesse 3			15.47 10.41
Moyenne pour l'immeuble		PEB	BE	TBE PASSIF

Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	39.21			
	Système C - Vitesse 1	45.55	21.70	16.32	12.61
	Système C - Vitesse 3	66.52	42.29	34.29	33.36
	Système D 15% - Vitesse 1			8.20	4.62
	Système D 15% - Vitesse 3			10.97	7.21
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	47.27			
	Système C - Vitesse 1	56.46	24.64		
	Système C - Vitesse 3	84.85	50.60		
	Système D 15% - Vitesse 1			9.11	5.06
	Système D 15% - Vitesse 3			12.16	7.86

A.2 Résultats du cas de base et de la rénovation de l'ancienne ferme de Chaumont-Gistoux

Résultats des demandes de chauffage de l'analyse des 2 rénovations réalisées pour le cas d'étude de l'Ancienne ferme de Chaumont-Gistoux. Voir le tableau ci-dessous.

Tableau 30 : Demandes de chauffage en kWh/m²an

Cas de base		NI	3cm	6cm	PEB	BE	TBE	SP
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	214.27	132.98	108.99	86.06	55.86	46.13	42.87
	Système C - Vitesse 1				57.24	26.88	16.86	13.74
	Système C - Vitesse 3				80.20	49.51	39.12	36.56
	Système D 15% - Vitesse 1						8.87	5.49
	Système D 15% - Vitesse 3						11.52	8.18
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	282.26	166.41	132.08				
	Système C - Vitesse 1				70.64	31.00		
	Système C - Vitesse 3				100.94	58.24		
	Système D 15% - Vitesse 1						10.20	6.23
	Système D 15% - Vitesse 3						13.11	9.17
Cas de rénové		NI	3cm	6cm	PEB	BE	TBE	SP
Thermostat 20-16°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	165.11	108.77	92.69	72.69			
	Système C - Vitesse 1				43.87	27.47		
	Système C - Vitesse 3				66.75	50.08		
	Système D 15% - Vitesse 1						8.87	5.03
	Système D 15% - Vitesse 3						11.49	7.65
Thermostat 20°C	Fenêtre ouverte 1h par jour	211.48	131.76	109.13	82.16			
	Système C - Vitesse 1				52.50	31.60		
	Système C - Vitesse 3				81.84	58.85		
	Système D 15% - Vitesse 1						10.18	5.74
	Système D 15% - Vitesse 3						13.07	8.61



SUBURBAN AREAS FAVORING ENERGY EFFICIENCY [SAFE]

CONCLUSIONS GENERALES

Chercheuses : A-F. Marique, T. de Meester
Encadrement : A. de Herde, S. Reiter

LEMA [ULg] - Architecture & Climat [UCL]

31 mai 2012

Conclusion générale

Ce rapport scientifique et technique clôture la recherche SAFE (« Suburban Areas Favoring Energy efficiency »), développée sous la coordination de l'équipe de recherche du LEMA de l'Université de Liège (Prof. S. Reiter et A.-F. Marique) avec la collaboration de l'équipe de recherche Architecture et Climat de l'Université catholique de Louvain (Prof. A. De Herde et T. De Meester).

La recherche SAFE a consisté à étudier les quartiers périurbains wallons existants du point de vue énergétique ainsi que d'évaluer le potentiel d'amélioration de leur efficacité énergétique globale (comprenant les bâtiments, le transport et les réseaux d'éclairage). Une des spécificités de cette recherche est la comparaison qui a été réalisée tout au long du projet de recherche SAFE entre les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ des bâtiments et les consommations énergétiques et émissions de CO₂ dues au transport des résidents. Les modélisations des bâtiments effectuées ont porté sur la phase d'utilisation des logements ainsi que sur tout la durée de leur cycle de vie.

Un des aboutissements de la recherche SAFE a été de créer un outil informatique interactif, accessible sur le web (<http://www.safe-energie.be>) qui permet d'évaluer l'efficacité énergétique des logements et quartiers périurbains existants du point de vue des consommations de chauffage et de ventilation des bâtiments ainsi que des consommations liées au transport des habitants de leur lieu de domicile à leur lieu de travail ou d'enseignement. Cet outil offre également des pistes d'amélioration en fonction du cas étudié et permet de tester différents scénarios de renouvellement des logements et quartiers modélisés.

Les principaux résultats de la recherche SAFE, développés dans ce rapport scientifique final, sont :

- Un large état de l'art relatif à l'étalement urbain, aux méthodes d'évaluation énergétiques existantes et aux techniques de rénovation énergétique des bâtiments.
- La définition d'une typologie des quartiers périurbains wallons et la sélection de cas d'études représentatifs à l'échelle régionale.
- Le développement de méthodes d'évaluation des consommations énergétiques des bâtiments et du transport résidentiel, à l'échelle du ménage, du quartier et de la Région wallonne. Plusieurs méthodes innovantes ont été développées dans le cadre de cette recherche et appliquées au territoire wallon; ces méthodes sont adaptables à d'autres contextes et régions.
- La modélisation des quartiers-types sélectionnés sur base de variations paramétrées qui ont permis de mettre en évidence les principales caractéristiques architecturales et urbaines qui influencent les consommations énergétiques des quartiers.
- Des analyses en cycle de vie de bâtiments et la mise en évidence de l'importance prioritaire de la phase d'utilisation des logements et du niveau d'isolation de leurs parois sur leurs impacts environnementaux globaux.
- La comparaison énergétique de différents scénarios de renouvellement des tissus périurbains existants.
- L'élaboration de l'outil SAFE : un outil web interactif qui permet de comparer rapidement les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ liées au chauffage et à la ventilation des logements à celles générées par le transport de leurs occupants.

- La rédaction de nombreuses publications scientifiques : 4 articles publiés dans des revues internationales avec peer-reviewing, 10 articles de conférences avec peer-reviewing publiés dans les actes de ces conférences (dont l'un d'eux a obtenu le prix scientifique du best paper dans la catégorie « greening transport »), 4 articles en cours de review par des revues internationales, 1 article en cours de review pour une conférence internationale.
- La diffusion des résultats de la recherche SAFE et de l'outil SAFE créé à travers des conférences et des séminaires visant des publics variés.

Toutes les publications réalisées dans le cadre de la Recherche SAFE sont accessibles sur le site <http://orbi.ulg.ac.be> (en précisant votre recherche à partir des auteurs suivants : Sigrid Reiter ou Anne-Françoise Marique).

Plusieurs résultats de la recherche SAFE invitent à un approfondissement scientifique. Notons les éléments suivants :

- La différenciation des méthodes d'évaluation et des stratégies de réduction des consommations énergétiques des quartiers en fonction du type de milieu bâti.
- L'élargissement des analyses en cycle de vie à l'échelle du quartier, en comprenant les réseaux impliqués.
- La diversification des types de logements étudiés, notamment la prise en compte d'immeubles à appartements.
- L'influence des différents types d'énergies renouvelables.
- Le potentiel de transfert modal et d'utilisation accrue du co-voiturage en fonction de la localisation choisie.
- Le potentiel de densification de l'habitat et son intérêt en lien avec sa localisation.

Pour répondre à ce besoin de recherches complémentaires, le projet de recherche SOLEN (« Solutions for Low Energy Neighbourhoods ») a été élaboré. Il sera réalisé dans la continuité du projet SAFE par les mêmes équipes de recherche et sera également financé par la DGO4 de la Région wallonne en Belgique. Ce projet consistera à préciser et étendre les méthodes et outils développés dans SAFE à l'ensemble des quartiers résidentiels wallons, quel que soit leur type (urbain, périurbain et rural). Ce projet approfondira l'influence de la forme urbaine sur les consommations énergétiques des quartiers, tiendra compte d'un plus grand nombre de types de logements (notamment d'appartements) et intégrera également l'évaluation du potentiel en énergie renouvelable des quartiers wallons, afin de tendre vers les objectifs « quartiers à (très) basse énergie » et « zéro énergie ». L'outil interactif SAFE sera modifié en conséquence et comprendra de nouveaux modules de calculs en lien avec les résultats de la recherche SOLEN.